www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

9e JAARGANG No. 7, blz. 193-224 JULI 1947

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN EXPERIMENTEEL ELECTRONENMICROSCOOP VOOR 400 KILOVOLT

door A. C. van DORSTEN, W. J. OOSTERKAMP en J. B. LE POOLE. 621.385.833

Wanneer men de versnellingsspanning van een electronenmicroscoop verhoogt, wordt theoretisch het scheidend vermogen verbeterd. Een belangrijker voordeel is echter, dat men bij hoge spanningen dikke preparaten kan bestuderen, die bij lagere spanningen o.a. door de te sterke verstrooiing der electronen geen bruikbaar beeld opleveren. In dit artikel wordt een experimenteel electronenmicroscoop beschreven, dat in het Philips Laboratorium te Eindhoven gebouwd is. Dit werkt met spanningen tot 400 kV. Het instrument bevat een van buiten af verstelbaar objectiefdiafragma met vier verschillende openingen, waardoor het mogelijk is voor ieder preparaat een zo gunstig mogelijk contrast in het beeld te verkrijgen. Het is gebleken, dat men bijv. van gistcellen, wier inwendige bij 100 kV onscherp wordt afgebeeld, bij toepassing van 350 kV de fijne structuren duidelijk waarneemt. Tenslotte wordt in dit artikel nog gesproken over de bescherming van de waarnemer tegen de in het microscoop opgewekte röntgenstraling.

Voordelen van een electronenmicroscoop met hoge versnellingsspanning

De meeste electronenmicroscopen, die tot dusver gebruikt worden, werken met een electronenstraal, waarvan de energie 50 tot 150 kV bedraagt. In het Philips Laboratorium te Eindhoven is een electronenmicroscoop geconstrueerd, dat bestemd is voor gebruik met electronenstralen, die een energie van 400 kV hebben. Alvorens een beschrijving te geven van dit instrument, willen we eerst de voordelen bespreken, die verbonden zijn aan de toepassing van een hoge versnellingsspanning.

We letten daarbij in de eerste plaats op het scheidend vermogen. Bij verhoging van de versnellingsspanning wordt, althans theoretisch, het scheidend vermogen verbeterd, dwz. de afstand, waarop twee details zich moeten bevinden om juist nog te worden gezien, wordt verkleind. Dit blijkt als volgt.

Zoals bekend mag worden ondersteld, moet aan bewegende electronen een golfkarakter worden toegekend en wordt hun golflengte λ gegeven door de betrekking

$$\lambda = \frac{12{,}3}{\sqrt{V}} \text{ Å}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

waarin V de versnellingsspanning in volt voorstelt. Hieruit ziet men, dat bij verhoging van de spanning de golflengte van de electronen kleiner wordt, hetgeen een verhoging van het scheidend vermogen met zich brengt [1]). Om dit nauwkeuriger na te gaan is het nodig er op te letten, dat bij de hoge spanningen, die thans ter sprake komen, formule (1) niet exact meer geldt. Men moet er een correctie volgens de relativiteitstheorie op toepassen. Zij gaat hierdoor over in

$$\lambda = \frac{12{,}3}{\sqrt{V_c}} \text{ Å}, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

waarin

$$V_c = V(1 + 0{,}98 \cdot 10^{-6} V).$$

We zullen V_c de gecorrigeerde spanning noemen. Deze moet o.a. ook in de formule voor de sterkte van een magnetische electronenlens, die in het onder [1]) geciteerde artikel afgeleid is, in de plaats van V treden. Wanneer de versnellingsspanning van het microscoop 400 kV bedraagt, is de gecorrigeerde spanning 560 kV. Men ziet uit formule (2), dat de golflengte bij verhoging van de versnellingsspanning tengevolge van de relativiteitscorrectie sterker afneemt dan men op grond van formule (1) zou verwachten.

De grenswaarde, die voor het scheidend vermogen van een electronenmicroscoop bereikt kan worden,

[1]) Zie bijv. J. B. Le Poole. Een nieuw electronenmicroscoop met continu regelbare vergroting, Philips techn. T. 9, 33-46, 1947 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hangt behalve van λ af van de grootte van bepaalde onvermijdelijke beeldfouten, waarbij in het bijzonder aan de buigingsfout en de sferische aberratie gedacht moet worden. Het is gebleken, dat het grootste scheidend vermogen verkregen wordt, wanneer er een bepaalde verhouding bestaat tussen de buigingsfout en de sferische aberratie. Hiervan uitgaande heeft men voor het scheidend vermogen de uitdrukking kunnen afleiden

$$d_{\min} = 0{,}56 \sqrt[4]{\lambda^3 C}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Verder kan worden aangetoond, dat de kleinste bereikbare waarde van de grootheid C, die in formule (3) voorkomt, evenredig is met de afmetingen van de lens, die zelf op hun beurt evenredig zijn met de wortel uit de gecorrigeerde spanning. Kiest men de gecorrigeerde spanning n maal zo hoog, dan wordt C dus $\sqrt{n}$ maal zo groot. Het scheidend vermogen is dan verbeterd en wel zo dat

$$d_{\min,\,n} = d_{\min} \sqrt[4]{\sqrt{n}/\sqrt{n^3}} = d_{\min} \sqrt[4]{1/n}.$$

Wanneer de versnellingsspanning stijgt van 150 tot 400 kV, dus de gecorrigeerde spanning van 165 tot 560 kV, kan men derhalve een verbetering van het scheidend vermogen met een factor 0,73 verwachten. Dit betekent, dat de kleinste waarneembare afstand nu ruim 25% kleiner geworden is.

Zeker moet dit als een niet onbelangrijke vooruitgang van de beeldkwaliteit beschouwd worden. Maar toch kan deze verbetering van het scheidend vermogen alleen niet de bouw rechtvaardigen van de kostbare installaties, die nodig zijn, wanneer men bij electronenmicroscopen een dusdanig hoge versnellingsspanning wil toepassen.

Voordat we het tweede voordeel van een hoge versnellingsspanning noemen, willen we eerst de beeldvorming bij een electronenmicroscoop wat nader beschouwen.

Voor de waarneming van een bepaald detail van een object is het nog niet voldoende, dat de afmetingen hiervan groter zijn dan met het scheidend vermogen van het microscoop overeenkomt. Er moet bovendien in het beeld, dat men bestudeert, een voldoend contrast zijn. Het oog kan niet met zekerheid onderscheiden tussen twee gedeelten van het beeld, welker helderheid minder dan een bepaald percentage verschilt. De grootte van dit percentage hangt af van de waarnemer, van de verlichting en van de aard van het object.

Hoe ontstaat nu bij een electronenmicroscoop het contrast? De verstrooiing, die de electronen in het object ondervinden, is het effect, dat daarvoor bijna uitsluitend aansprakelijk is. Deze verstrooiing is evenredig met de doorstraalde massa, zodat de electronen des te meer verstrooid worden naarmate zij een zwaarder deel van het preparaat doorlopen hebben. De electronen, die in een deel van het object een te grote verstrooiing ondervinden, vallen op het objectiefdiafragma en werken niet mede aan de lichtopwekking op het fluorescentiescherm. De resterende electronen, die het voorwerp doorlopen en het objectief passeren, worden door het magnetische veld van deze lens tot een beeld gefocusseerd. De schematische tekening van *fig. 1* licht dit nader toe.

Stellen we ons nu voor, dat men met een electronenmicroscoop, dat met een lage versnellingsspanning werkt, een dik preparaat, bijv. een microtoomcoupe, gistcellen of een chromosomenpreparaat wil waarnemen. Het object zal dan de electronen zo sterk verstrooien, dat ze bijna alle op het objectiefdiafragma vallen. Het beeld is bijgevolg vrijwel volkomen zwart, zodat men er geen inwendige structuren in kan zien.

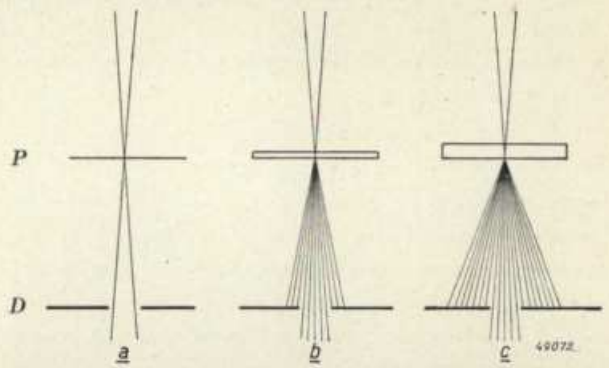


Fig. 1. De verstrooiing der electronen door objecten van verschillende dikte. Bij *a*, *b* en *c* zijn stralen getekend, die resp. een zeer dun, een middelmatig en een dik voorwerp *P* doorlopen. *D* stelt het objectiefdiafragma voor, dat telkens een gedeelte der electronen opvangt. In dikke gedeelten van het object is de verstrooiing zo groot, dat slechts weinig stralen in het beeld terecht komen. Als gevolg hiervan zal het beeld op een met een dik gedeelte corresponderende plaats veel „donkerder" zijn dan op andere plaatsen.

Wanneer men nauwkeurig onderzoekt wat bij het passeren van een dik object door electronen gebeurt, dan komt nog een ander storend effect aan het licht, nl. de zg. ruimtelijke verstrooiing in het object zelf. Hieronder verstaan we het verschijnsel, dat de electronen na bepaalde details van het object gepasseerd te zijn opnieuw van hun baan afgebogen worden. Daardoor bestaat er tenslotte geen verband meer tussen de richting, waarin zij het preparaat verlaten, en de plaats, waar zij vandaan komen. Het contrast en het scheidend vermogen wordt hierdoor natuurlijk ongunstig beïnvloed.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Nu zou men kunnen denken, dat betere resultaten zullen worden verkregen door bij dikke preparaten een groter objectiefdiafragma te gebruiken. Wat het eerstgenoemde effect betreft kan men daarvan inderdaad enige verbetering verwachten. Maar in elk geval kan men er de fout, die door de ruimtelijke verstrooiing ontstaat, niet door verminderen. De enige mogelijkheid is over te gaan tot de toepassing van een hogere versnellingsspanning. Wanneer de energie van de electronen verhoogd wordt, zal de gemiddelde verstrooiingshoek vrij snel afnemen en tevens neemt dus de ruimtelijke verstrooiing snel af. Bovendien zullen meer electronen het diafragma kunnen passeren en het eindscherm bereiken.

Het tweede en belangrijkste voordeel van het gebruik van een hoge versnellingsspanning is dus, dat daarbij dikke preparaten bestudeerd kunnen worden, die bij een lagere spanning geen bruikbaar beeld opleveren.

Nu moet hieruit niet geconcludeerd worden, dat het gewenst zou zijn alle preparaten te onderzoeken met electronenstralen, die een grote energie hebben. Uit het zoëven vermelde feit, dat bij verhoging van de versnellingsspanning de gemiddelde verstrooiingshoek vrij snel afneemt, volgt immers dat het contrast dan juist minder wordt. Wanneer een dun preparaat bij een lage versnellingsspanning een beeld met voldoend contrast oplevert, dan zal men dus bij toepassing van een hogere versnellingsspanning dit contrast zien verminderen. Het verlies aan contrast kan weliswaar grotendeels opgeheven worden door het objectiefdiafragma kleiner te kiezen; maar in de regel zal men dan toch de beeldkwaliteit achteruit zien gaan. Hieruit volgt, dat het gebruik van een hoge spanning alleen zin heeft voor die preparaten, waarbij men wegens hun dikte bij een lagere spanning geen behoorlijk resultaat kan bereiken.

Een derde voordeel, dat het gebruik van een electronenstraal met hoge energie biedt, is de vermindering van de chromatische aberratie. Deze beeldfout ontstaat door schommelingen in de snelheid van de electronen. Er zijn verschillende oorzaken, die deze fluctuaties bewerken, waarvan we noemen: de onvoldoende stabilisatie van de versnellingsspanning, en bij dikke objecten de snelheidsverdeling bij de verstrooiing van de electronen in het object. Maar hoe sneller de electronen zijn des te minder energie zullen zij aan het preparaat afgeven. Daar nu de chromatische aberratie evenredig is met het procentuele energieverlies, kan men bij overgang op electronen met een hogere energie een vermindering van de invloed van de chromatische aberratie verwachten.

Tenslotte vermelden we nog, dat bij gebruik van een hogere versnellingsspanning de verwarming van het object bij dezelfde stroomdichtheid geringer is en dat de ionisatie in het preparaat, die in sommige gevallen bezwaarlijk kan zijn, bij hogere spanningen afneemt.

Beschrijving van het instrument

Aan het electronenmicroscoop kunnen we drie delen onderscheiden: de generator voor hoge gelijkspanning, de versnellingsbuis en het eigenlijke microscoop, dwz. de tubus met de lenzen, het fluorescentiescherm en verschillende hulpapparaten. Van elk van deze onderdelen volgt hieronder een beknopte beschrijving.

De generator voor hoge gelijkspanning

De apparatuur, die de hoge spanning moet leveren, is gebouwd volgens dezelfde beginselen, welke toegepast zijn bij de installaties, die Philips de laatste tien jaren ten behoeve van verschillende instituten voor röntgentherapie en kernphysica ontworpen heeft. Daar hierover reeds vroeger in dit tijdschrift uitvoerig geschreven is [2]), volstaan we met een korte beschrijving.

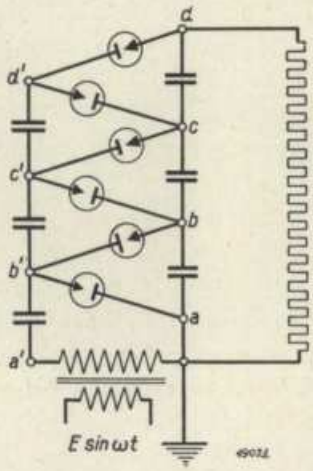


Fig. 2. De schakeling van een cascadegenerator met zes ventielen, welke, indien hij onbelast is, in punt *d* de spanning 6*E* levert, indien de amplitude van de wisselspanning, die de transformator levert, *E* bedraagt. In de ketens *ab'*, *b'b* enz. bevinden zich de zes ventielen voor 150 kV negatieve anodespanning.

De gelijkspanning wordt geleverd door een driestaps-cascadegenerator met een schakeling waarvan het beginsel aan Greinacher te danken is en die door Cockcroft en Walton in Cambridge en door Bouwers in Eindhoven practisch is verwezenlijkt.

Voor het principe van deze schakeling wordt verwezen naar *fig. 2*. Indien de amplitude van de wisselspanning, die de transformator levert, *E* bedraagt, is in *d* de gelijkspanning 6 *E*. Daar bij de hier beschreven installatie de transformator 75 kV topspanning levert, kan de generator onbelast een gelijkspanning van 450 kV produceren.

[2]) Philips techn. T. **1**, 6-10, 1936; **2**, 161-165, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voor de in zulke generatoren benodigde gelijkrichtbuizen zijn door Philips in vroegere gevallen gewoonlijk gasventielen gebruikt. Deze hebben, doordat zij voorzien zijn van oxydkathoden, het voordeel, dat het gloeidraadvermogen gering (8-14 watt) is. Het werd echter niet raadzaam geoordeeld ze in deze installatie aan te brengen. Want deze ventielen hebben een ontsteekspanning, die soms laag, maar die ook enkele kV kan zijn en daar voor het electronenmicroscoop de spanning op elk ventiel tot op enkele tienden $^0/_{00}$, d.i. in dit geval tot op 50 à 100 volt, constant moet zijn, werd gevreesd, dat de variabele ontsteekspanning de spanningsconstantheid wel eens ongunstig zou kunnen beïnvloeden. Daarom werden vacuumventielen gebruikt. Bij de hoge ventielspanning kan men die weliswaar niet van oxydkathoden voorzien [3]), maar daar de totale gelijkstroom en dus ook de stroom door de ventielen gering is, bleek het mogelijk te volstaan met wolfraamkathoden, die een gloeidraadvermogen van ca 20 watt hebben.

Voor het voeden van de gloeidraden der ventielen wordt een hoogfrequente stroom gebruikt [2]). Dit heeft het voordeel, dat de stroombron op aardpotentiaal kan worden gehouden. Deze verhittingsstroom wordt geleverd door een generator met een vermogen van 200 watt en heeft een frequentie van 500 000 per/sec.

In *fig. 3* is het electronenmicroscoop met zijn hoogspanningsinstallatie (behalve de transformator) afgebeeld. Voor de verdere bijzonderheden van deze

[3]) Philips techn. T. **8**, 199-205, 1946 (no. 7).

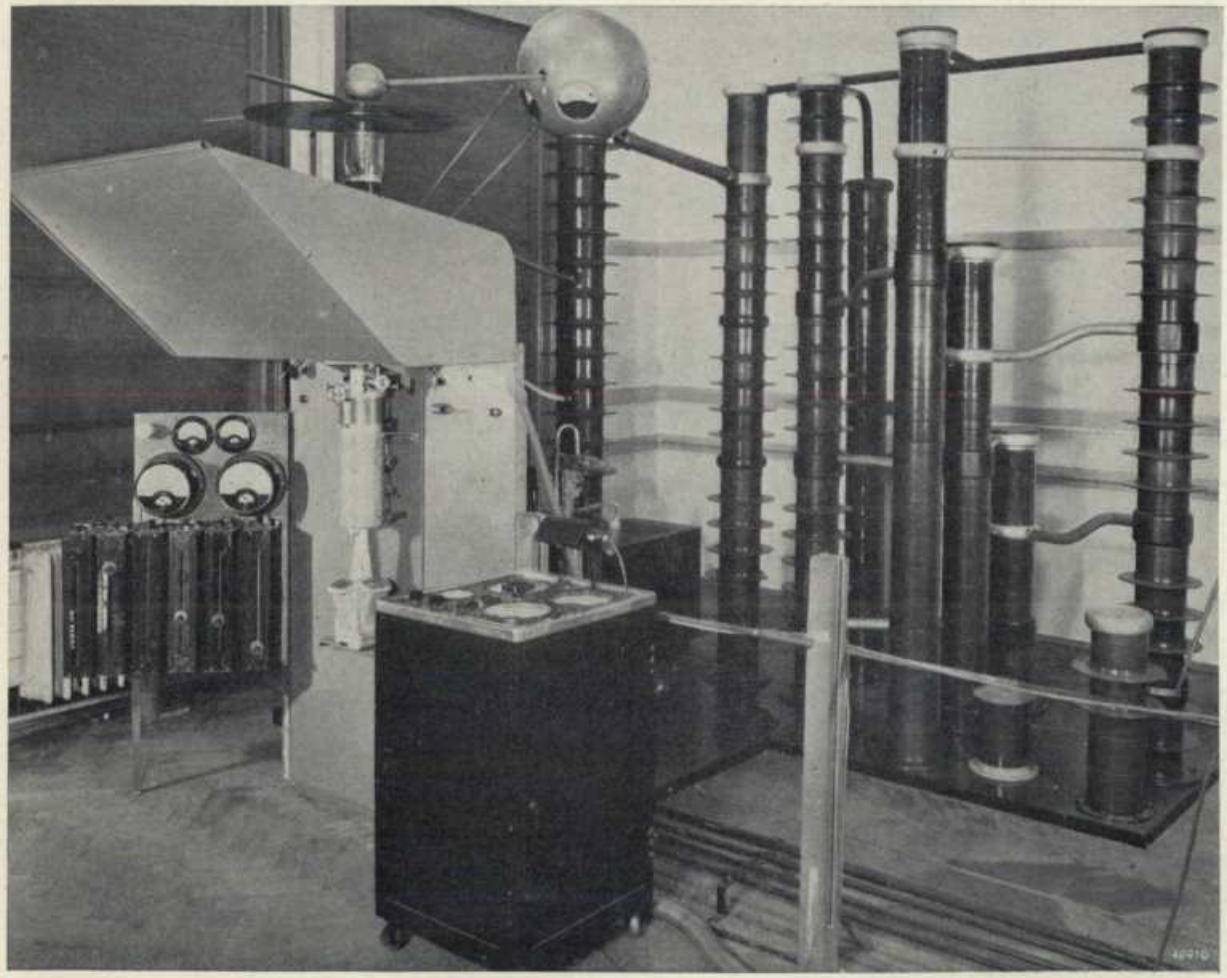


Fig. 3. Het electronenmicroscoop voor 400 kV met zijn hoogspanningsinstallatie. De transformator is op deze foto niet zichtbaar. De drie verticale zuilen in het midden, welker afmetingen zich ongeveer verhouden als 2 : 3 : 4 en die niet van uitstekende platte randen voorzien zijn, bevatten ieder twee vacuumventielen voor 150 kV negatieve anodespanning. De overige zuilen bevatten condensatoren en weerstanden. Op de voorgrond een schakellessenaar met verschillende meetinstrumenten. Daarachter een kastje, dat de generator bevat voor de hoogfrequente verhitting van de kathoden der ventielen. Geheel links de regelweerstanden voor de bekrachtiging van de magnetische lenzen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

installatie, die in sommige opzichten verschilt van vroegere uitvoeringen, wordt verwezen naar het onderschrift van deze figuur.

De versnellingsbuis

Ook bij de constructie van de versnellingsbuis kon gebruik gemaakt worden van de ervaring, die de Philips Laboratoria hebben verkregen bij het ontwerpen van röntgeninstallaties voor hoge spanningen.

Er is indertijd een röntgenbuis voor een millioen volt ontworpen, waarvan de inrichting in dit tijdschrift uitvoerig beschreven is [4]). De buis bestaat uit drie eenheden, die in serie geschakeld zijn. Elk heeft een tussenschot, dat op een bepaalde vaste potentiaal wordt gehouden, zodat de spanning in zes gelijke trappen verdeeld is. De electronen, die door de wolfraam gloeikathode worden geëmitteerd en tussen kathode en anode van de eerste buis zijn versneld, worden in de holle anode geschoten, vliegen met constante snelheid door dit nauwe verbindingsstuk naar de tweede buis, worden hier tussen kathode en anode voor de tweede maal en tussen kathode en anode van de derde buis een derde keer versneld. Aan het einde van de boring der derde anode treffen de electronen de antikathode. Om de lengte van een eenheid te verkleinen en toch het overspringen van glijvonken te verhinderen is de glazen wand dubbel geplooid. Om directe vonkoverslag te vermijden zijn bovendien de ringvormige holten tussen de plooien opgevuld met een isolerend lichaam van „Philite".

De versnellingsbuis van ons electronenmicroscoop is geheel volgens dezelfde beginselen geconstrueerd, zodat we voor nadere bijzonderheden naar het zoeven geciteerde artikel kunnen verwijzen. De versnelling der electronen geschiedt hier evenwel niet in zes maar in drie trappen. Indien men later het electronenmicroscoop voor een nog hogere spanning zou willen gaan gebruiken, is het zonder grote moeite mogelijk dit te wijzigen of uit te breiden.

De kathode, die de electronen emitteert, wordt gevoed door een 6 volts accumulator. Zij kan ten opzichte van de andere electroden enigermate verplaatst worden, teneinde het mogelijk te maken de bundel goed te richten. De focusseringsdop heeft een regelbare, ten opzichte van de gloeidraad negatieve spanning, wat van belang is om een nauwe electronenbundel te verkrijgen.

Aan een nauwkeurige instelling van de plaats en de richting van de bundel, die op het object valt, moet veel zorg besteed worden, omdat deze van grote invloed is op de beeldkwaliteit. In verband hiermede is de versnellingsbuis met condensor naar richting en plaats ten opzichte van de microscooptubus door schroeven verstelbaar gemaakt.

In *fig. 4* is een foto weergegeven, waarbij de beschermingskap boven het microscoop weggenomen is. De versnellingsbuis is daarop duidelijk zichtbaar.

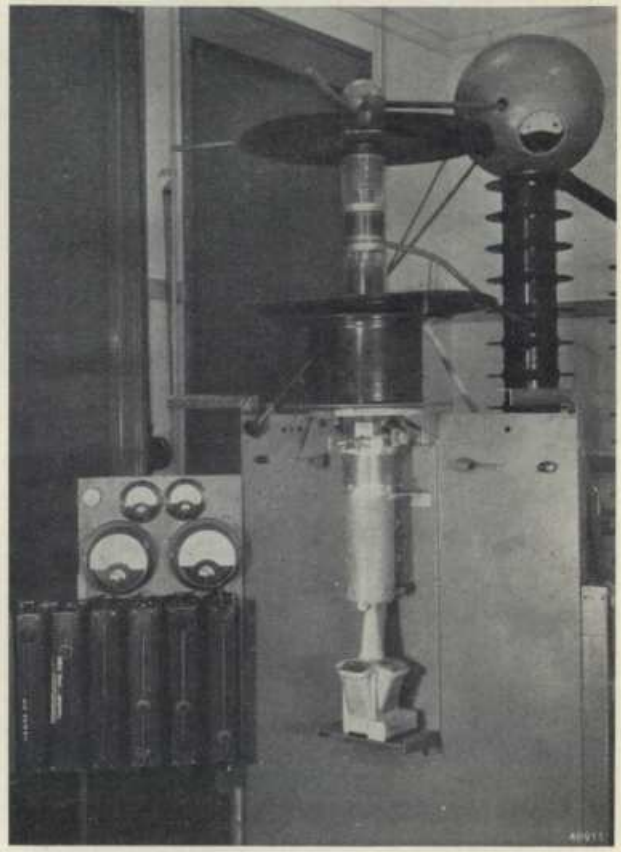


Fig. 4. Het eigenlijke microscoop met de versnellingsbuis. Doordat de beschermingskap weggenomen werd, is de versnellingsbuis duidelijk zichtbaar. Rechts een zuil, die de weerstanden bevat voor de potentiometer, waarvan de stroom voor de buis wordt afgetakt. Bovenop deze zuil bevindt zich in een bol, op een potentiaal van —400 kV ten opzichte van aarde, een 6 volts accumulator voor de verhitting van de gloeidraad.

Het microscoop

Ook bij de beschrijving van het eigenlijke microscoop kunnen wij beknopt zijn, daar de constructie in verschillende opzichten overeenstemt met die van het electronenmicroscoop voor 150 kV, dat in het onder [1]) geciteerde artikel beschreven is.

In *fig. 5* is het microscoop met de versnellingsbuis in doorsnede getekend. De condensorlens bevindt zich boven het microscoop aan de onderzijde van de versnellingsbuis. Afgezien van de condensor zijn er vier lenzen: een objectief, twee tussenlenzen en een projector. Het aanbrengen van een tussenlens heeft als voordelen, dat

[4]) J. H. van der Tuuk, Een röntgenbuis voor 1 millioen volt, Philips techn. T. 4, 161-170, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

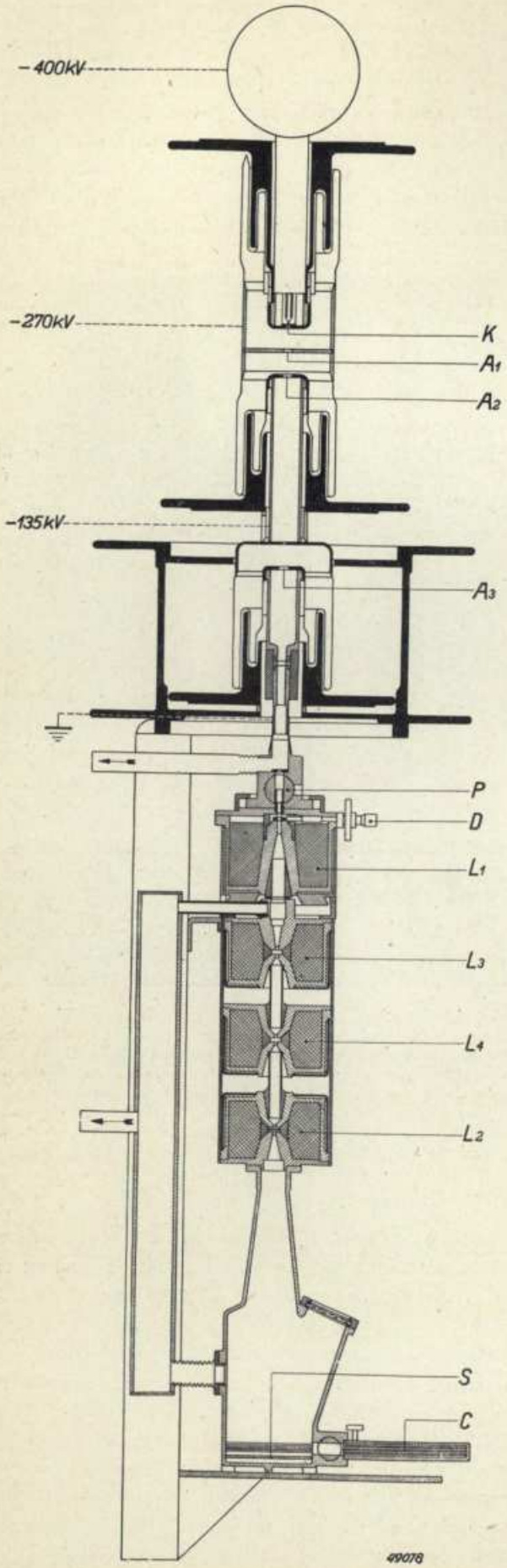


Fig. 5. Doorsnede-tekening van het eigenlijke microscoop met de versnellingsbuis (schaal ca 1 : 8). K is de kathode, A_1, A_2 en A_3 zijn de drie anoden, P is de preparaatsluis, D het objectiefdiafragma. Verder is L_1 het objectief, L_2 de projector, terwijl L_3 en L_4 de twee tussenlenzen zijn. S is het fluorescerend scherm en C de plaathouder van de fotografische camera. Ter linkerzijde van de figuur is aangegeven welk gedeelte van de versnellingsbuis met de aarde verbonden is en waar het potentiaalverschil ten opzichte van aarde resp. —135, —270 en —400 kV bedraagt.

de lengte van de tubus — indien men in aanmerking neemt welke sterke vergrotingen bereikt worden — klein is en dat de vergroting binnen wijde grenzen regelbaar is. De afstand van de condensor tot het eindscherm bedraagt 93 cm. De vergroting is continu regelbaar van 2000× tot 100 000 ×, waarbij men de projector onveranderd laat, zodat steeds het gehele beeldveld, dat een middellijn heeft van 9 cm, gevuld is [5]).

Toen dit microscoop ontworpen werd, kon op grond van destijds verschenen publicaties verwacht worden, dat het scheidend vermogen van fotografische emulsies en fluorescerende schermen niet onbelangrijk zou afnemen bij het gebruik van een hogere versnellingsspanning. Daarom werd besloten het instrument geschikt te maken voor een vergroting van 10^5 ×. Om dit te kunnen bereiken bij een kleine totale lengte van het microscoop werd besloten vier trappen toe te passen, dwz. behalve objectief en projector twee tussenlenzen aan te brengen. Bij de thans beschikbare fotografische emulsies en fluorescentieschermen is het scheidend vermogen zo goed, dat men waarschijnlijk bij hoge spanningen met een kleinere vergroting zal kunnen werken dan eerst het plan was. Men kan dan met drie trappen, dus één tussenlens, bevredigende resultaten bereiken. Het voornemen bestaat om in dat geval de bovenste tussenlens te vervangen door een diffractielens, zoals deze ook bij het bovengenoemde 150 kV microscoop in gebruik is.

Wat de constructie der lenzen betreft kan nog worden opgemerkt, dat de vorm der ijzeren kernen zo gekozen is, dat er nergens verzadiging kan ontstaan. Ook moet nog worden vermeld, dat met het oog op eventueel later toe te passen hogere versnellingsspanningen het eigenlijke microscoop zo gebouwd is, dat daarbij ook electronenstralen met een energie van een millioen volt gebruikt zouden kunnen worden.

Wij hebben er boven reeds op gewezen, dat het bij het gebruik van een electronenmicroscoop met een hoge versnellingsspanning van essentiële betekenis is, dat men er zorg voor draagt het objectiefdiafragma in te schakelen dat het beste

[5]) Dit is nader toegelicht in het onder [1]) geciteerde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

past bij de aard van het te bestuderen object. Om dit mogelijk te maken zijn bij het hier beschreven microscoop vier van buiten af instelbare objectiefdiafragma's van wolfraam van verschillende grootte aangebracht. De middellijnen van de openingen zijn resp. 0,8, 0,08, 0,045 en 0,03 mm.

Tenslotte nog een paar woorden over het vacuumsysteem. Bij het gebruik van een electronenmicroscoop mag de druk in de versnellingsbuis niet hoger zijn dan ca 0,001 mm Hg. Om dit vacuum te bereiken zijn twee van elkaar onafhankelijke hoogvacuumpompsystemen aangebracht. Het vacuum wordt gemeten met een Philips vacuummeter [6])

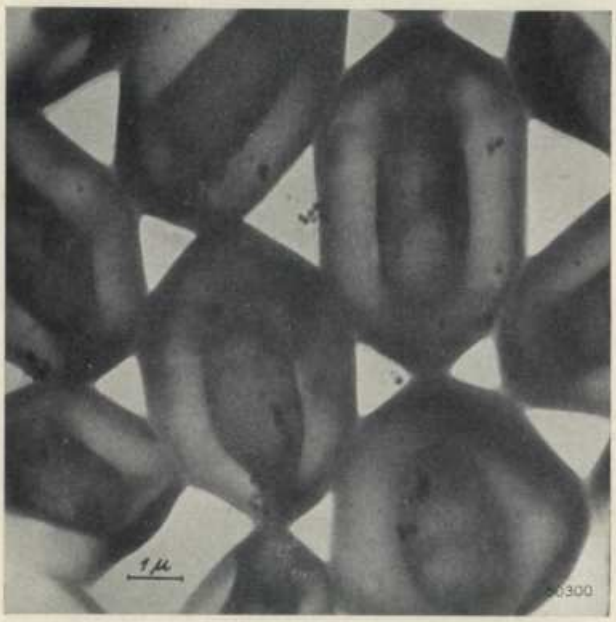


Fig. 6. Gistcellen, opgenomen bij een versnellingsspanning van 100 kV, middellijn objectiefdiafragma 0,08 mm. Electronenoptisch 2000× vergroot. De cellen zijn doorzichtig, het inwendige wordt onscherp afgebeeld. Om de werkelijke vergroting van de reproductie aan te geven is bij deze en de volgende figuren tevens de afstand van 1 μ afgebeeld.

met glimlichtbuisje, bruikbaar in het interval van 10^{-5} tot 10^{-3} mm kwikdruk.

Wanneer men een nieuw preparaat wil bestuderen, wordt dit met behulp van een luchtsluis op de objecttafel in de tubus gebracht. Daarbij zal slechts ca 2 cm³ lucht in het microscoop terecht komen. Twintig seconden na het insluizen is het vacuum weer voldoende, zodat dan de hoogspanning opnieuw kan worden ingeschakeld.

Een vijftal reproducties op deze en de volgende pagina geven een beeld van de resultaten, die thans reeds met het electronenmicroscoop voor 400 kV bereikt zijn. In de *fig. 6, 7* en *8* zijn gistcellen afgebeeld, voor welker opname achtereenvolgens versnellingsspanningen van 100, 200 en

[6]) F. M. Penning, Philips techn. T. **2**, 201-208, 1937.

Fig. 7. Gistcellen, hetzelfde preparaat als in fig. 6, met hetzelfde diafragma en dezelfde vergroting opgenomen, doch nu bij een versnellingsspanning van 200 kV. De inwendige structuur is door de toepassing van een hogere energie reeds veel scherper afgebeeld.

350 kV zijn toegepast. De kwaliteit der beelden is een bevestiging van de in het begin van dit artikel besproken voordelen, die men kan verwachten bij het gebruik van een hoge versnellingsspan-

Fig. 8. Gistcellen, opgenomen bij een versnellingsspanning van 350 kV. Het objectiefdiafragma met een middellijn van 0,08 mm werd weer gebruikt en de electronenoptische vergroting was nu ook 2000×. Dank zij het gebruik van het zeer kleine objectiefdiafragma is bij de toepassing van deze hoge energie het contrast nog voldoende, terwijl nu ook fijnere structuren zichtbaar zijn. Een paar dunne donkere strepen, die men aan de rechterzijde van het figuur waarneemt, zijn afbeeldingen van plooien in de collodiumfilm, waarop het preparaat is aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 9. Oxydehuidje van een gebeitst aluminiumkristal, opgenomen bij een versnellingsspanning van 250 kV en een diafragma van 0,8 mm middellijn. Electronenoptische vergroting 3000×.

Fig. 10. Hetzelfde preparaat als in fig. 9, opgenomen bij dezelfde versnellingsspanning met dezelfde vergroting, doch met een diafragma van 0,045 mm. De invloed van de grootte van het objectiefdiafragma op het contrast is duidelijk zichtbaar.

ning bij dikke preparaten. De *afbeeldingen 9* en *10* demonstreren de invloed, die het gebruik van een geschikt objectiefdiafragma heeft op het bereikte contrast.

Intussen worden de onderzoekingen voortgezet. De hier beschreven uitvoering van het electronenmicroscoop voor 400 kV draagt een experimenteel karakter. In de constructie worden geleidelijk nog verbeteringen aangebracht.

We willen dit artikel besluiten met enige beschouwingen over de maatregelen, die nodig zijn ter bescherming van de waarnemer tegen röntgenstralen.

Bescherming tegen röntgenstralen

Overal waar electronen botsen met materie worden röntgenstralen opgewekt. Het is genoegzaam bekend, dat een te lange of te krachtige blootstelling aan röntgenstralen voor het menselijk lichaam zeer schadelijke gevolgen kan hebben. Er moeten dus voorzorgen worden genomen, dat de hoeveelheid röntgenstraling, die de gebruiker van een electronenmicroscoop bereikt, beneden een veilige waarde blijft. Men doet dit gewoonlijk door tussen de bron van röntgenstraling en de waarnemer beschermingsmateriaal aan te brengen, dat de meeste röntgenstralen absorbeert. Volledige absorptie is niet mogelijk, maar ook niet nodig.

Bij instrumenten met zeer lage spanning, bijv. tot 20 kV, zijn de röntgenstralen zo zacht, en dus gemakkelijk absorbeerbaar, dat de wand van de vacuumbuis met de zich daaromheen bevindende lucht hiervoor in voldoende mate zorgt. Bij microscopen die met hoge spanning werken, moet men speciale maatregelen nemen om de waarnemer tegen röntgenstraling te beschermen. In het bijzonder is dit het geval, wanneer men electronen met zo grote energieën gebruikt als bij het hierboven beschreven instrument.

Als een toelaatbare dagelijkse dosis wordt gewoonlijk 0,2 r beschouwd [7]), hetgeen bij een 8-urige werkdag neerkomt op een röntgenintensiteit van ongeveer 10^{-5} r/sec.

De röntgenstralingsdosis neemt lineair toe met de stroomsterkte van de electronenstraal en met het atoomnummer van het materiaal, dat door de electronen getroffen wordt, en bovendien met het kwadraat van de energie der electronen. En voor een stralingsbron van kleine afmetingen is de straling omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de bron.

Het is van belang op te merken, dat bij een electronenmicroscoop de voornaamste röntgenstraling opgewekt wordt bij de diafragma's. Wanneer de electronenstraal het condensordiafragma is gepasseerd, is de stroomsterkte reeds belangrijk kleiner geworden en in nog sterkere mate is dat het geval nadat het objectiefdiafragma doorlopen is. De stroom naar het scherm is zo klein — in ons geval slechts 10^{-8} tot 10^{-9} A — dat de daar

[7]) Een röntgen (r) is de röntgenstralingsdosis, die door ionisatie een e. s. e. van lading ($3{,}3 \cdot 10^{-10}$ coulomb) zal vrijmaken bij het passeren van 1 cm³ lucht bij een temperatuur van 20 °C en een druk van 76 cm Hg. Zie ook het art. van B. van Dijk in Philips techn. T. 4, 119-122, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geëmitteerde röntgenstraling practisch te verwaarlozen is. Wanneer men ten behoeve van de waarnemer een beschermingsplaat, in de regel van lood, gaat aanbrengen, dan zal men dat dus aan de bovenzijde van het microscoop moeten doen.

Het is echter gewenst reeds bij de constructie van het instrument maatregelen te nemen, waardoor de intensiteit der röntgenstraling verlaagd wordt. Bij het hier beschreven electronenmicroscoop is dat op twee manieren gebeurd.

In de eerste plaats is gezorgd, dat de stroomsterkte zo klein mogelijk is, nl. niet groter dan de stroomsterkte, nodig voor het „verlichten" van het af te beelden deel van het object. De hiervoor nodige stroomsterkte ligt vast, doordat voor het verkrijgen van een helder beeld een bepaalde stroomdichtheid nodig is. Het reduceren van de stroomsterkte tot dit minimum komt er op neer, dat men werkt met een smalle electronenstraal, die zorgvuldig gericht is. Het werken met een smalle en goed gerichte bundel is steeds gewenst, maar in bijzondere mate is het eis, wanneer de versnellingsspanning hoog is. Want doordat de versnellingsbuis lang is, heeft de bundel een grotere spreiding en als gevolg van de grote energie der electronen wordt daarbij een sterke röntgenstraling opgewekt.

De tweede manier om de intensiteit van de röntgenstraling te verminderen bestaat daarin, dat men de belangrijkste diafragma's maakt van materiaal met een laag atoomnummer. Hiervan werd gebruik gemaakt door zowel in de condensor als dicht boven het preparaat een diafragma van beryllium aan te brengen. Om de afvoer van de warmte te bevorderen zijn de diafragma's in een koperen montuur gesoldeerd.

Het is nodig de dikte te bepalen, die de beschermingsplaat moet hebben om de dosis, die een waarnemer ontvangt, beneden een bepaalde grens te brengen. Hierbij kan men gebruik maken van de onderzoekingen, die reeds vroeger zijn gedaan ten behoeve van het personeel, dat bestralingsapparaten voor röntgentherapie bedient. Men zal dan een electronenmicroscoop vergelijken met een röntgeninstallatie, waarvan de anodespanning even hoog is als de versnellingsspanning van het microscoop. Daarbij kan men nagaan hoe groot, op grond van de vroeger verrichte onderzoekingen, de dikte van de beschermingsplaat in de röntgeninstallatie moet zijn en dan daaruit berekenen hoe dik deze plaat bij het electronenmicroscoop moet zijn, hierbij in aanmerking nemende, dat de stroomsterkte van de electronenstraal bij het microscoop veel geringer is dan bij de röntgenbuis en eventueel ook rekening houdend met het verschil in atoomnummer van de materialen, die bij beide installaties door de electronen getroffen worden, en met de afstanden, waarop de waarnemers in beide gevallen van de röntgenbron verwijderd zijn.

De grafiek van *fig. 11* heeft betrekking op een röntgenbuis voor 400 kV, waarbij een wolfraamoppervlak door een stroom van 10 mA getroffen wordt. Dit zijn de omstandigheden, zoals die bij een bepaalde bestralingsinstallatie met röntgenstralen voorkomen [8]). Het blijkt, dat de loodbekleding 24 mm dik moet zijn om te bereiken, dat de dosis, die de waarnemer op de afstand van 1 m per seconde opvangt, niet groter is dan 10^{-5} r.

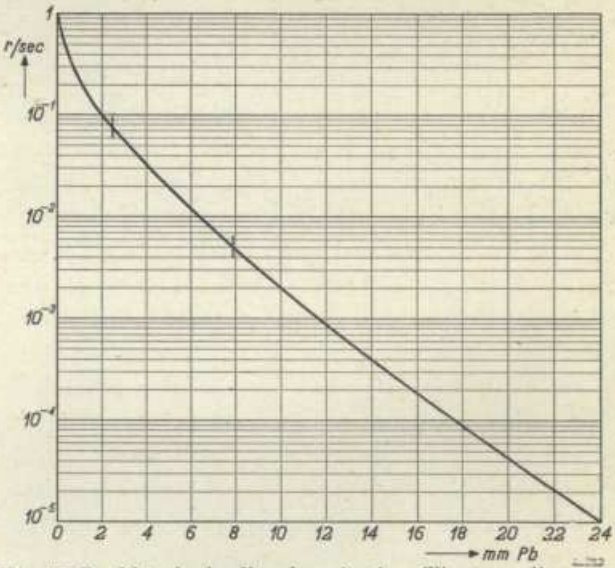


Fig. 11. De dikte der loodbescherming in millimeters, die nodig is om de röntgenstralingsdosis beneden een bepaald bedrag te houden, wanneer de anodespanning 400 kV en de stroomsterkte 10 mA bedraagt, terwijl de electronen tegen wolfraam botsen en de waarnemer zich op 1 m afstand van de stralingsbron bevindt. Wanneer de stroomsterkte verminderd wordt tot 0,02 mA kan, om de röntgenintensiteit beneden 10^{-5} r/sec te houden, volstaan worden met een looddikte van ca 8 mm en indien men bovendien de diafragma's van beryllium maakt, is een bescherming van ruim 2 mm lood voldoende.

Een stroom van 10 mA is bij röntgeninstallaties normaal. Bij dit electronenmicroscoop kan men onder de bovengenoemde omstandigheden werken met een stroomsterkte van niet meer dan 0,02 mA. In verband daarmede kan de looddikte van 24 tot 8 mm teruggebracht worden. Door de overgang van wolfraam op beryllium als materiaal voor de diafragma's is een verdere reductie van 8 tot 2,5 mm lood mogelijk.

Anderzijds is bij een electronenmicroscoop de afstand van de bron der röntgenstraling tot de waarnemer meestal kleiner dan 1 m. Bij de bepaling van de dikte van de loden beschermingsplaat moet daarmede dan nog rekening worden gehouden.

[8]) Philips techn. T. 8, 105-110, 1946 (no. 4).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN KATHODESTRAALOSCILLOGRAAF MET TWEE BALANSVERSTERKERS

door E. E. CARPENTIER.

621.317.755

Beschreven wordt de nieuwe kathodestraaloscillograaf voor universeel gebruik, type GM 3159, waarin de oscillograafbuis DG 7-3 wordt toegepast. Voor elk der platenparen is een balansversterker aanwezig. Dank zij een correctieschakeling is de versterking binnen 3 db constant in een frequentiegebied van 10-460 000 per/sec bij de maximale gevoeligheid. Bij verminderde gevoeligheid strekt dit frequentiegebied zich tot ruim 10^6 per/sec uit. De schakeling voor de tijdasspanning kon, dank zij de aanwezigheid van een versterker voor de horizontale afbuiging, zeer eenvoudig gehouden worden. De zaagtandspanning is ook beschikbaar voor andere, buiten de oscillograaf gelegen doeleinden, bijv. voor metingen aan versterkers. De frequentie ervan is regelbaar van 10 tot 150 000 per/sec. De lichtvlek kan, bij gebruik van de tijdas, tijdens het teruglopen onderdrukt worden, waardoor het beeld aan duidelijkheid wint. De magnetische afscherming van de oscillograafbuis is aanzienlijk verbeterd. De nieuwe oscillograaf is kleiner en veel lichter dan de oudere typen

Kathodestraaloscillografen zijn reeds meermalen in dit tijdschrift beschreven [1][2][3]). Het type dat wij in dit artikel behandelen (GM 3159) onderscheidt zich van de vorige o.a. door de aanwezigheid van twee versterkers: één, zoals gebruikelijk, voor de verticale afbuiging, en bovendien één voor de horizontale afbuiging. Deze tweede versterker komt de algemene bruikbaarheid zeer ten goede. Een tweede punt van verschil is de betere kwaliteit van het beeld, welke grotendeels te danken is aan het gebruik van een nieuwe oscillograafbuis. In de derde plaats moge vermeld worden dat er bijzonder naar gestreefd is het gewicht en de afmetingen van het gehele toestel zoveel mogelijk te beperken; als resultaat hiervan is dan ook een handig en goedkoop apparaat ontstaan.

Bij dit streven dreigt de ontwerper van het toestel in conflict te komen met de wens, de gevoeligheid groot en de frequentieband breed te houden, teneinde een gebruik op een zoo ruim mogelijk gebied toe te laten. Verschillende van deze wensen zijn namelijk met elkaar in strijd. Zo moet, om ondanks kleine afmetingen een ongewenst hoge temperatuur in het toestel te voorkomen, het opgenomen vermogen beperkt worden; dit dwingt tot het gebruik van een zo klein mogelijk aantal versterkbuizen, wat enerzijds leidt tot een compromis met de gevoeligheidseis, anderzijds er toe voert de versterking per trap hoog te kiezen, hetgeen ten koste van de bandbreedte gaat. In vergelijking met de oscillograaf GM 3152 (zie noot [2])) heeft het bedoelde compromis geleid tot enige concessie ten aanzien van de gevoeligheid, vooral bij de zeer hoge frequenties. Het nieuwe type is niet bestemd voor het gebied der zeer lage frequenties (1-10 per/sec), die bij mechanische toepassingen voorkomen; voor dit doel blijft de speciaal voor deze lage frequenties geconstrueerde oscillograaf GM 3156 het aangewezen instrument (zie noot [3])).

[1]) Philips techn. T. **1**, 147-151, 1936, (Type GM 3150).
[2]) Philips techn. T. **4**, 210-216, 1939, (Type GM 3152).
[3]) Philips techn. T. **5**, 289-297, 1940, (Type GM 3156).

Algemene gezichtspunten

Tot nu waren kathodestraaloscillografen in hoofdzaak volgens het in *fig. 1a* weergegeven blokschema ingericht: de spanning waarvan men het oscillogram wenst te zien, wordt aangesloten bij I en over een regelbare verzwakker (potentiometer) Z_1 aan de versterker A_v toegevoerd, die met de platen D_v voor de verticale afbuiging is verbonden. De horizontale afbuiging wordt verkregen door aan de platen D_h een spanning met een lineaire zaagtandvorm te leggen, opgewekt door de tijdbasisschakeling TB. Deze wordt gesynchroniseerd door een hulpspanning, die over een verzwakker Z_2 en een schakelaar S wordt betrokken, hetzij van het te oscillograferen signaal (stand A van de schakelaar S), hetzij van een bij II aan te sluiten hulpsignaal (stand B), hetzij van het net (stand C), dwz. van het voedingsapparaat P, dat de anode-, rooster- en gloeispanningen voor de verschillende buizen levert.

De nieuwe oscillograaf is enigszins anders ingericht. Zoals reeds werd vermeld, heeft ook het platenpaar voor de horizontale afbuiging een eigen versterker (A_h, fig. 1*b*). De schakelaar S heeft nu vijf standen, waarvan no. *3*, *4* en *5* overeenkomen met de standen A, B en C van de oude schakeling, behalve dat nu de versterker A_h zich steeds tussen het platenpaar D_h en het tijdbasisapparaat bevindt. Het laatstgenoemde behoeft nu slechts een zaagtandspanning met een kleine amplitude af te geven, waardoor het veel eenvoudiger kan worden ingericht. Dit is echter niet meer dan een bijkomstig voordeel van de aanwezigheid van de tweede versterker, die vooral tot zijn recht komt in stand *1*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de schakelaar. Hierbij is Z_2 rechtstreeks op de ingang van de versterker A_h aangesloten; het tijdbasisapparaat is uitgeschakeld. Men is hierdoor niet beperkt tot het waarnemen van eigenlijke oscillogrammen (spanning als functie van de tijd), doch men kan ook Lissajous-figuren (*fig. 2*) zichtbaar maken, nl. een spanning als functie van een willekeurige andere spanning, waarbij dank zij de aanwezigheid van de twee versterkers de beide ingangsspanningen klein kunnen zijn. Hierdoor wordt het toepassingsgebied aanzienlijk uitgebreid; men denke bijv. aan metingen van frequenties of fasehoeken. In stand *2* ten slotte wordt aan de versterker A_h een spanning met de netfrequentie toegevoerd, over een afzonderlijke verzwakker Z_3; ook hier is het tijdbasisapparaat uitgeschakeld.

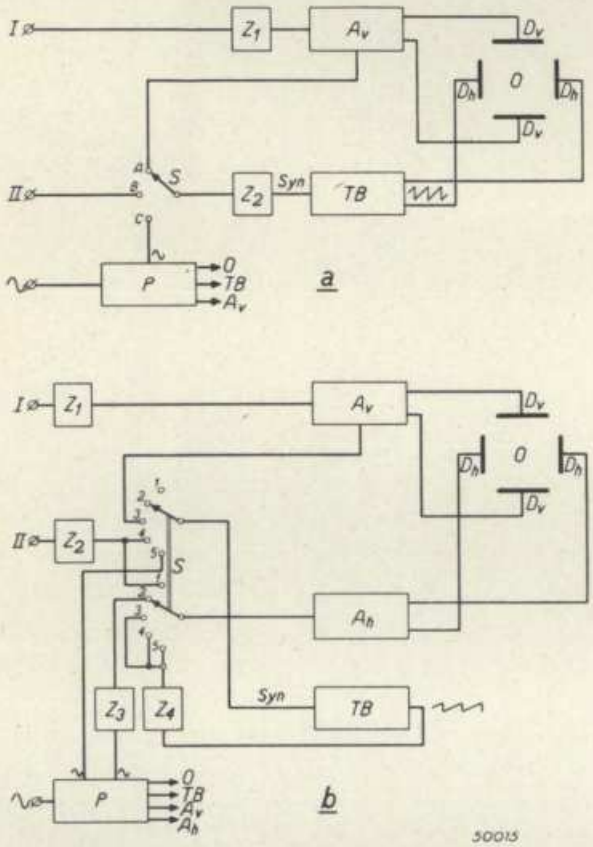


Fig. 1. *a*) Blokschema van tot dusverre gebruikelijke kathodestraaloscillografen. I = aansluiting voor de spanning waarvan men een oscillogram wenst te maken. Z_1 = regelbare verzwakker (potentiometer), A_v = versterker, O = oscillograafbuis met platen D_v voor verticale, D_h voor horizontale afbuiging. TB = tijdbasisapparaat, waarvan de frequentie kan worden gesynchroniseerd door een hulpspanning, toegevoerd bij *Syn* over de verzwakker Z_2 en de schakelaar S. Deze spanning is òf afkomstig van de waar te nemen spanning (stand A van S), òf een bij II aangesloten spanning (stand B), òf zij wordt van het net betrokken (stand C). P = op het net aangesloten voedingsapparaat.

b) Blokschema van de nieuwe oscillograaf (GM 3159). De platen D_h zijn aangesloten op een versterker A_h (identiek aan A_v), waarvan de ingang in stand *1* van de schakelaar S met de klemmen II is verbonden, zodat men een kleine spanning als functie van een andere kleine spanning (beide van de orde van 10 mV) kan waarnemen. In stand *2* van S wordt aan de versterker A_h een sinusvormige spanning met de netfrequentie toegevoerd. De standen *3*, *4* en *5* komen overeen met de standen A, B en C van fig. 1*a*. Z_3 en Z_4 zijn verzwakkers. De overige letters hebben dezelfde betekenis als bij (*a*).

Zowel in (*a*) als (*b*) is weggelaten dat de platen D_h rechtstreeks met een paar klemmen kunnen worden verbonden.

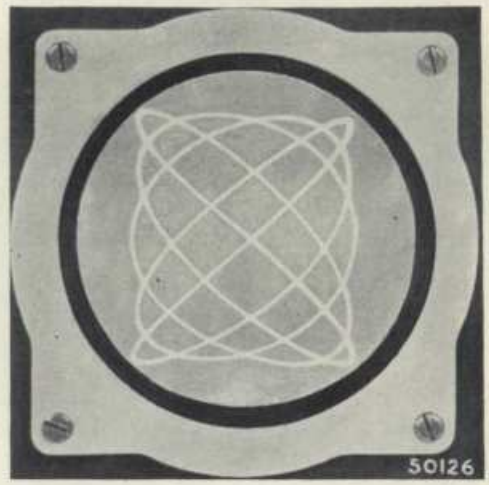


Fig. 2. Lissajous-figuur, welke demonstreert 1) dat de lichtvlek in het gehele doorlopen gebied van het scherm scherp is, en 2) dat het beeld in een rechthoek past. Dit laatste is te danken aan de symmetrische besturing van de beide paren afbuigplaten, waardoor zg. trapezium-vervorming (zie het in noot [2]) aangehaalde artikel) afwezig is.

Dit wat de algemene opzet van de nieuwe oscillograaf betreft. Wij zullen nu enkele belangrijke onderdelen nader beschouwen, en wel zeer in het kort de kathodestraalbuis, vervolgens uitvoeriger de versterkers en de schakeling voor de tijdasspanning. Ten slotte zullen wij nog enige bijzonderheden van de mechanische constructie bespreken.

De kathodestraalbuis

In de nieuwe oscillograaf wordt de kathodestraalbuis DG 7-3 toegepast, waarin de verschillende verbeteringen zijn aangebracht die in het vorige nummer werden besproken [4]). Zoals daar werd toegelicht, is de scherpte van de lichtvlek verhoogd, vooral aan de rand van het scherm. Hieraan is het te danken dat, hoewel de schermdiameter slechts 7 cm is, een scherp beeld van nagenoeg dezelfde grootte te krijgen is als met oudere buizen waarvan het scherm een middellijn van 9 cm heeft. Uit de Lissajous-figuur in fig. 2 blijkt de gelijkmatige scherpte van de lijn over het gehele scherm.

Eveneens herinneren wij aan de electrische afscherming tussen de beide paren afbuigplaten en hun toevoerdraden, welke in de nieuwe buis is aangebracht. Dank zij deze afscherming zijn de parasi-

[4]) J. de Gier en A. P. van Rooy, Verbeteringen in de constructie van oscillograafbuizen, Philips techn. T. **9**, 181-185, 1947 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

taire capaciteiten tussen de platenparen zodanig verminderd dat wederzijdse influencering, ten gevolge waarvan een spanning tussen de platen van het ene paar een spanning tussen die van het andere paar zou veroorzaken, ook bij zeer hoge frequenties niet merkbaar is.

De versterkers

Balansversterking

De versterkers voor de twee paren afbuigplaten zijn identiek uitgevoerd. Wij kunnen dus met de beschrijving van één ervan volstaan.

Deze weerstanden moeten zich verhouden als $(g_0-1):1$, indien g_0 de spanningsversterking van één balanshelft is.

Bij de methode volgens fig. 3*b* kan men een volkomen symmetrie weliswaar in principe niet bereiken, doch wel willekeurig dicht benaderen. De methode berust hierop dat het verschil der twee anodewisselstromen (die bij asymmetrie ongelijk zijn) door een impedantie Z_k in de gemeenschappelijke kathodeleiding vloeit en in deze impedantie een wisselspanning opwekt die op beide roosters in dezelfde zin werkt. Een eenvoudige berekening

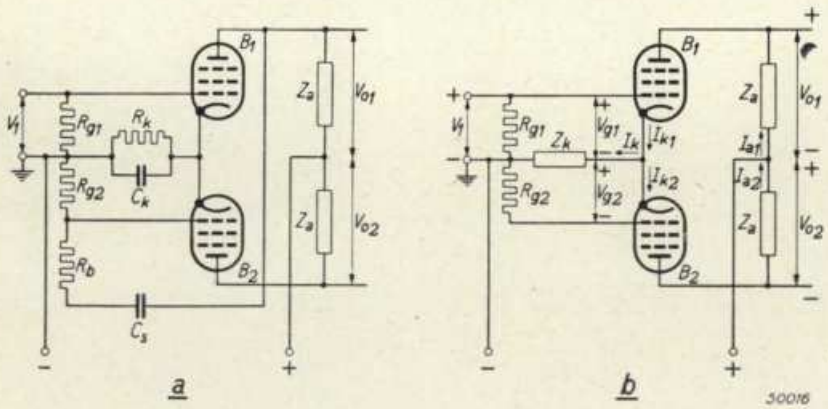


Fig. 3. Twee methoden waarmee men uit een balansversterker een symmetrische uitgangsspanning kan verkrijgen ($V_{o1}=V_{o2}$), hoewel de ingangsspanning (V_i) eenzijdig geaard is.
a) Een spanningsdeler van weerstanden, R_b en R_{g2}, voert een gedeelte van de uitgangsspanning V_{o1} van de versterkbuis B_1 naar het stuurrooster van de buis B_2. C_s is een scheidingscondensator, R_k een door een condensator C_k overbrugde weerstand voor het leveren van de negatieve roosterspanning.
b) Volgens deze methode wordt de symmetrie benaderd, als $SZ_k \gg 1$ is (S = steilheid der buizen B_1 en B_2, Z_k = impedantie in de gemeenschappelijke kathodeleiding). De in de figuur aangegeven stromen I_{k1}, I_{a1} enz. zijn wisselstromen, de spanningen V_i, V_{g1}, V_{o1} enz. zijn wisselspanningen; zij worden in de pijlrichting, resp. in de richting die met + en — is aangegeven, positief gerekend.

Een asymmetrische besturing, waarbij één der platen aan aarde is gelegd, heeft vervorming van het beeld ten gevolge (zie hiervoor bijv. het in noot [2]) aangehaalde artikel). Om deze vervorming te vermijden hebben wij de versterker als balansversterker uitgevoerd. Van het gebruik van een voortrap is afgezien, omdat wegens de gewenste kleine afmetingen van het toestel het aantal buizen en het opgenomen vermogen zo klein mogelijk moeten worden gehouden. Men staat nu voor de vraag, hoe men uit een balansschakeling waaraan een eenzijdig geaarde, dus asymmetrische, ingangsspanning wordt toegevoerd, een symmetrische uitgangsspanning kan verkrijgen. De *figuren 3a* en *b* laten twee wijzen zien waarop deze vraag kan worden opgelost. Volgens de methode van de eerstgenoemde figuur wordt de versterkbuis B_2 gevoed uit een spanningsdeler van twee weerstanden, R_b en R_{g2}, in serie met een scheidingscondensator C_s, aangebracht over de uitgang van de buis B_1. toont aan dat de symmetrische toestand zeer dicht benaderd wordt, als voldaan is aan de voorwaarde: $SZ_k \gg 1$, waarin S de steilheid der buizen betekent.

Voor de wisselspanningen en -stromen in de schakeling van fig. 3*b*, met de daarin aangegeven notatie en keuze der positieve richtingen, kan men de volgende vergelijkingen opschrijven:

Buis B_1	Buis B_2	
$V_{k1}=V_1-Z_kI_k$,	$V_{k2}=Z_kI_k$,	
$I_{a1}=SV_{g1}$	$I_{a2}=SV_{g2}$,	. . (1)
$I_{k1}=\beta I_{a1}$,	$I_{k2}=\beta I_{a2}$.	

Hierin geeft de factor β, die meestal een waarde van 1,2-1,3 heeft, aan, dat de kathodewisselstroom groter is dan de anodewisselstroom; het verschil tussen deze beide vloeit over het schermrooster.

Voorts geldt nog:

$$I_k = I_{k1} - I_{k2}.$$

Hieruit volgt:

$$I_{a1} = \frac{1+\beta SZ_k}{1+2\beta SZ_k} SV_1, \qquad I_{a2} = \frac{\beta SZ_k}{1+2\beta SZ_k} SV_1. \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men ziet uit deze vergelijkingen dat de anodestromen minder verschillen naarmate $\beta S Z_k$ groter is ten opzichte van 1. Is $I_{a1} \approx I_{a2}$, dan geldt, bij gelijke anode-impedanties Z_a, uiteraard ook: $V_{o1} \approx V_{o2}$.

Welke van de beide schakelingen het meest voor ons doel geschikt is, zij hier nog in het midden gelaten; wij komen hierop terug na de bespreking van de frequentiekarakteristiek.

Benodigde versterking; waarde van de anodeweerstand

Tussen de platen van het gevoeligste der twee afbuigsystemen (d.i. het platenpaar dat zich het dichtst bij de anode bevindt) is een topspanning van 20 V nodig voor een totale uitslag van 1 cm. Neemt men als uitgangspunt dat de gevoeligheid 1/25 cm beeldhoogte of -breedte per mV (effectief) aan de ingang van de versterker moet bedragen, dan komt men tot een benodigde versterking van $20/(25\sqrt{2}\cdot 10^{-3}) = 560$. De balansversterker moet dus per helft een versterking van $560/2 = 280$ leveren.

Bij het gebruik van een penthode is de versterking gelijk aan het product van de impedantie Z_a in de anodekring en de steilheid S. Deze laatste is bij de gebruikte penthode (EF 50) ingesteld op ca 4 mA/V, zodat men $Z_a = 70\,000$ ohm moet kiezen om een 280-voudige versterking te krijgen.

Z_a bestaat uit de parallelschakeling van een weerstand R_a en een parasitaire capaciteit C_p, welke laatste op ca 28 pF kan worden gesteld. Zolang de frequentie niet te hoog is, mag men de invloed van C_p verwaarlozen, zodat dan $R_a \approx Z_a = 70\,000$ ohm. Bij een frequentie echter van bijv. 10^6 per/sec — die we voorlopig als bovenste grens van de frequentieband willen aannemen — is de impedantie van de parasitaire capaciteit gedaald tot 5700 ohm, een waarde klein vergeleken met R_a, zodat nu $|Z_a| \approx 1/\omega C_p$. De versterking is in overeenkomstige mate gedaald. Hoe hieraan tegemoet te komen is, zullen wij in een volgende paragraaf zien; eerst zullen wij nagaan, hoe de keuze van de anodegelijkstroom en van de gelijkspanning voor de voeding van de anodeketen in hoofdzaak door de waarde van $1/\omega C_p$ bij hoge frequenties en door de gewenste beeldgrootte worden bepaald.

Anodegelijkstroom; voedingsspanning

Neemt men bij hoge frequenties genoegen met een beeldhoogte van bijv. 3,5 cm, dan moet de versterker een spanning met een topwaarde van $3{,}5 \times 20 = 70$ V afgeven; per helft dus 35 V. Bij de hoogste frequentie van 10^6 per/sec, waarbij $|Z_a| \approx 5700$ ohm bedraagt, loopt er dus een anodewisselstroom met een top van $(35/5700)\cdot 10^3 =$ 6,1 mA. De anodegelijkstroom moet dus ook ten minste deze waarde hebben; om enige reserve te hebben, is een waarde van 6,5 mA gekozen.

Met welke spanning de anodekringen moeten worden gevoed, vinden we als volgt. Deze voedingsspanning is in hoofdzaak gelijk aan de minimaal toelaatbare anodespanning van de penthode EF 50 (ca 100 V), vermeerderd met het maximale spanningsverlies in de anodeweerstand. Dit laatste bestaat uit de som van het gelijkspanningsverlies ten bedrage van $6{,}5\cdot 10^{-3}\cdot 70\,000 = 455$ V, en de topwaarde van de wisselspanning die elk der versterkerhelften maximaal moet afgeven, nl. ca 35 V. Zo vinden we $100 + 455 + 35 = 590$ V. Hierbij dient echter nog een zekere toeslag gevoegd te worden met het oog op netspanningsschommelingen en spreiding in de waarden van de anodestroom en van de anodeweerstanden. Men komt zo tot een voedingsspanning van 675 V. Door deze spanning en de zoëven genoemde anodestroom van 6,5 mA voor elk der vier versterkbuizen is een groot deel van het totale opgenomen vermogen vastgelegd. De voedingsspanning van 675 V wordt tevens gebruikt voor de kathodestraalbuis.

De frequentiekarakteristiek

De vorm van de frequentiekarakteristiek van de versterker is bepaald door het verloop van $|Z_a| = R_a/\sqrt{1 + (\omega C_p R_a)^2}$ met de frequentie. $|Z_a|/R_a$ is in *fig. 4*, kromme *a*, weergegeven, waarbij de maximale waarde 100 % is gesteld. Zoals men

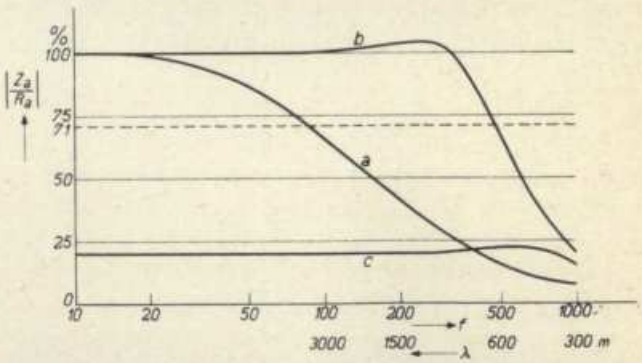


Fig. 4. De verhouding $|Z_a|/R_a$, waarmee de versterking evenredig is, als functie van de frequentie f (in kper/sec). Kromme *a*: weerstandsversterker zonder correctie. De daling van de versterking bij toenemende frequentie ontstaat door het afnemen van de anode-impedanties Z_a als gevolg van de aanwezigheid van parasitaire capaciteit. Reeds bij 85 kper/sec is de versterking tot op 71% gedaald. *b*) Door gebruik van een correctiemethode wordt het frequentiegebied waarin de versterking tussen 100% en 71% ligt, uitgebreid tot ca 460 kper/sec. *c*) Door een weerstand (R_t, fig. 7) parallel over de uitgangsklemmen te schakelen, offert men wat van de gevoeligheid op, doch verschuift men de bovenste frequentiegrens tot ruim 1000 kper/sec.

Op de ordinaatas komt 100% overeen met een versterking van ca 560 maal. Bij de abscis-as zijn ook enige golflengten (λ) aangegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ziet, is dit verloop niet zeer bevredigend. Ter verbetering hiervan is een nieuwe methode gevolgd, die wij aan de hand van *fig. 5* zullen toelichten, waarbij voorlopig van balansschakeling is afgezien.

De anodewisselstroom I_a splitst zich in twee componenten, I_R en I_C, die resp. door R_a en C_p vloeien; I_C is 90° in fase vóór bij I_R. Heeft de stuurroosterspanning V_g een constante amplitude en een toenemende frequentie, dan blijft I_a constant $= SV_g$, doch I_c neemt toe ten koste van I_R, zodat de afgegeven spanning $|V_o| = I_R R_a$, daalt. Deze spanning zou onafhankelijk van de frequentie worden, als de capacitieve stroom I_C door de buis extra werd geleverd. Dit kan men bereiken door aan de buis een extra ingangsspanning met een geschikt gekozen grootte en fase toe te voeren, zoals blijkt uit fig. 5; bij (*a*) is V_1 de oorspronkelijke, te versterken spanning en V_b de extra ingangsspanning (die aan een nader te bepalen voorwaarde moet voldoen), zodat de totale roosterwisselspanning $V_g = V_1 + V_b$. Zoals bekend, mag men een penthode, wat de anodekring betreft, vervangen denken door een stroombron ter sterkte $I_a = SV_g = S(V_1 + V_b)$, zie fig. 5*b*. De stroom I_R in de weerstand wordt nu, bij een keuze der positieve richtingen als in de figuur is aangegeven:

$$I_R = \frac{-V_o}{R_a} = \frac{Z_a I_a}{R_a} =$$

$$= \frac{R_a/(1 + j\omega C_p R_a)}{R_a} \cdot S(V_1 + V_b) = \frac{S(V_1 + V_b)}{1 + j\omega C_p R_a}.$$

Om I_R de waarde te geven die men eigenlijk wenst, nl. SV_1, moet men V_b dus zó kiezen dat

$$\frac{S(V_1 + V_b)}{1 + j\omega C_p R_a} = SV_1,$$

of

$$V_b = j\omega C_p R_a V_1 = -\frac{j\omega C_p}{S} \cdot V_o. \quad . \quad (3)$$

De extra spanning V_b moet dus 90° in fase vóór zijn ten opzichte van de uitgangsspanning en evenredig met de frequentie toenemen.

Bij benadering krijgt men deze gewenste extra spanning door te werk te gaan volgens *fig. 6*, waar over de uitgang een spanningsdeler C_b-R_g is aangebracht. Aan R_g ontstaat een spanning $V_b' = V_o \cdot R_g/(R_g + 1/j\omega C_b)$, welke uitdrukking bij $\omega C_b R_g \ll 1$ door $j\omega C_b R_g \cdot V_o$ kan worden benaderd. Vergelijking met (3) laat zien dat men het gewenste effect krijgt door $C_b R_g = C_p/S$ te kiezen en de dan verkregen spanning V_b' nog 180° in fase te draaien.

Keren we nu terug tot fig. 3*a*, waarin was aangegeven, hoe met behulp van een spanningsdeler R_b-R_{g2} een balansschakeling een symmetrische spanning kan afgeven, hoewel de ingangsspanning asymmetrisch is. Het ligt voor de hand, deze spanningsdeler te combineren met de spanningsdeler C_b-R_g van fig. 6. Het bij deze laatste figuur

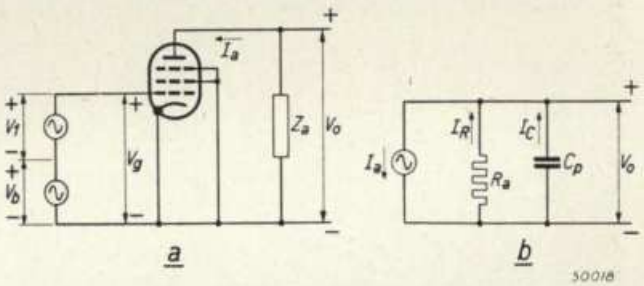


Fig. 5. *a*) Penthode aan wier stuurrooster, behalve de te versterken spanning V_1, een extra spanning V_b wordt toegevoerd, met het doel het afnemen der versterking bij hoge frequenties, als gevolg van parasitaire capaciteit, te compenseren. Gelijkspanningsbronnen zijn in deze figuur, evenals in de volgende, weggelaten. De tekens + en — geven weer aan, in welke richting de wisselspanningen V_1, V_b, V_g en V_o positief worden gerekend; de positieve stroomrichting is met een enkele pijl aangeduid.
b) Vervangingsschema voor de anodekring van fig. 5*a*: de stroombron I_a voedt de parallelschakeling van R_a en C_p.

benodigde 180° in fase draaien komt te vervallen, als men de te versterken spanning V_1 en de van R_g afgetakte spanning aan verschillende buizen toevoert, zoals *fig. 7* laat zien. R_b van fig. 3*a* en C_b van fig. 6 komen parallel te staan; R_g van fig. 6 is R_{g2} genoemd, in overeenstemming met fig. 3*a*. Over de werking van de schakeling volgens fig. 7 kan men globaal zeggen dat zij bij „lage" frequenties (dwz. frequenties waarbij de invloed van C_b te verwaarlozen is) overgaat in die van fig. 3*a*,

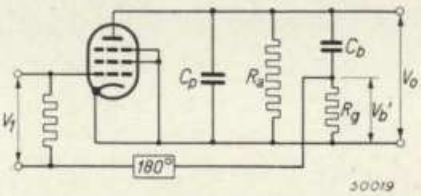


Fig. 6. De spanning V_b', die men aftakt van de spanningsdeler C_b-R_b, behoeft nog een fasedraaiing van 180° om dienst te kunnen doen als compenserende spanning V_b van fig. 5*a*.

en dat bij „hoge" frequenties (waarbij men R_b mag wegdenken) de werking overeenkomt met de schakeling van fig. 6 (waarbij de fasedraaiing van 180° door de balansschakeling wordt tot stand gebracht).

De schakeling vertoont nu echter nog een belangrijke tekortkoming. Als R_b en R_{g2} zodanig gekozen zijn dat bij lage frequenties de afgegeven spanning symmetrisch is, dan zal dit bij hogere

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

frequenties niet langer het geval zijn: de buis B_2 (fig. 7) moet immers aanvullen wat B_1 — door het dalen van Z_{a1} — in versterking te kort schiet. In fig. 3*b* hebben wij echter een ander middel leren kennen om een balansversterker symmetrisch te maken; het bestond hierin dat men aan SZ_k een waarde geeft die groot is in vergelijking met 1. Dit is inderdaad in de versterkers van de oscillograaf GM 3159 toegepast. Kort samenvattend kan men zeggen dat van

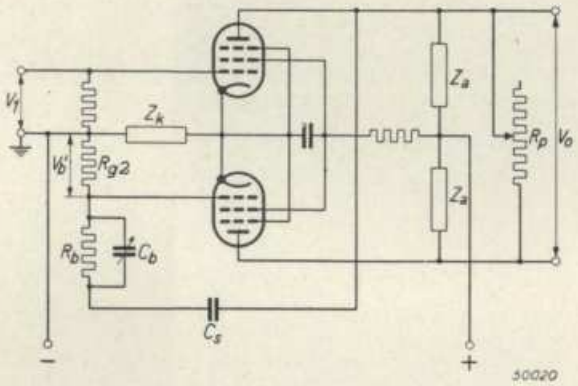


Fig. 7. De spanningsdelers R_b-R_{g2} van fig. 3*a* en C_b-R_g van fig. 6 zijn hier gecombineerd tot één spanningsdeler (R_b, C_b) - R_{g2}, met het doel de frequentiekarakteristiek bij hoge frequenties te verbeteren. De impedantie Z_k heeft, speciaal bij hoge frequenties, dezelfde functie als in de schakeling van fig. 3*b*. C_s is een scheidingscondensator. Bij verkleining van de weerstand R_p daalt de versterking, maar wordt zij tevens constanter bij hoge frequenties; met de maximum en de minimum waarde van R_F gelden resp. de karakteristieken *b* en *c* van fig. 4.

de methode volgens fig. 3*b* zowel als van die volgens fig. 3*a* is gebruik gemaakt, dit laatste echter met dien verstande dat in plaats van een potentiometerverhouding R_{g2}/R_b, welke onafhankelijk van de frequentie is, er een is toegepast waarbij deze verhouding wèl van de frequentie afhangt, en wel zodanig dat de versterking bij hoge frequenties minder van de nominale waarde afwijkt; de symmetrie, die hierbij verstoord dreigt te worden, wordt gehandhaafd doordat SZ_k groot ten opzichte van 1 is.

Daar S vast ligt, komt dit laatste er op neer dat men Z_k voldoende groot moet kiezen. Dit dient bij hoge frequenties het geval te zijn (bij lage frequenties is de schakeling immers gelijkwaardig met die van fig. 3*a*, waarbij omtrent Z_k niets ondersteld behoeft te worden). Daarom bestaat Z_k in hoofdzaak uit de reactantie van een smoorspoel, en overigens uit enige weerstand, welke nodig is om de gewenste negatieve roosterspanning op te wekken.

In hoeverre de frequentiekarakteristiek door deze methode wordt verbeterd, is te zien in fig. 4, kromme *b*: de frequentie waarbij de versterking 3 db is gedaald, d.i. tot op $^1/_2\sqrt{2}$ maal de nominale waarde (71 %), is er door verhoogd van ca 85 kper/sec tot ca 460 kper/sec. Fig. 7 toont nog een andere bijzonderheid, nl. de regelbare weerstand R_p tussen de uitgangsklemmen. Hoe kleiner R_p is, des te kleiner wordt de versterking, doch des te beter blijft zij bij hoge frequenties constant. Zo verkrijgt men met de minimum waarde van R_p de karakteristiek *c* van fig. 4, waarbij de versterking pas bij ruim 1000 kper/sec op 71% van de nominale waarde is gedaald. Dank zij deze weerstand kan men dus ook in het gebied van ca 500-1000 kper/sec met een behoorlijk constante versterking werken, waarbij echter voor dezelfde beeldhoogte een groter ingangssignaal nodig is.

Analyse van de balansschakeling met correctie

Het behoeft geen toelichting dat de bovenstaande, min of meer globale beschouwingen een nauwkeuriger analyse behoeven om tot de beste resultaten te voeren. Wij willen hier slechts enkele uitkomsten van de berekening aanstippen.

Voor de laagste frequentie waarmee men rekening wil houden, dienen $\omega C_b R_b$ en $2\omega C_p R_a$ klein ten opzichte van 1 te zijn, terwijl $R_b \approx (g_0 - 1)\, R_{g2}$, waarin $g_0 = SR_a$ = de helft van de totale nominale versterking voorstelt.

Bij hoge frequenties moet $\omega C_b R_b$ groot zijn ten opzichte van 1. Tussen V_b en V_o is volgens (3) een faseverschuiving van 90° nodig; deze verkrijgt men bij benadering, als $g_0 \gg 1$ en $C_b = 2\, C_b/SR_{g2}$. Voor de absolute waarde g der totale versterking vindt men dan:

$$g = \left|\frac{V_o}{V_1}\right| = 2g_0 \sqrt{\frac{g_0^2 + (\omega_F C_F R_a)^2}{(g_0 - \omega^2 C_F^2 R_a^2)^2 + (\omega C_F R_a)^2}}\,. \quad (4)$$

Voor een niet-gecorrigeerde versterker (C_b en R_b afwezig) vindt men, mits $\beta SZ_k \gg 1$:

$$g = \frac{g_0}{\sqrt{1 + (\omega C_F R_a)^2}}\,.$$

Voor $\omega = 1/C_F R_a$ is in dit geval de versterking met een factor $\sqrt{2}$ gedaald; noemen we deze hoekfrequentie ω', dan is (4) als volgt te schrijven:

$$g = 2g_0 \sqrt{\frac{1 + \left(g_0 \cdot \frac{\omega'}{\omega}\right)^2}{1 + \left(g_0 \cdot \frac{\omega'}{\omega} - \frac{\omega}{\omega'}\right)^2}}\,.$$

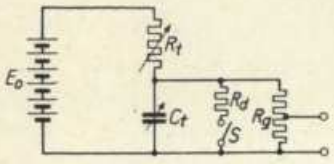
Deze functie is in een groot frequentiegebied nagenoeg constant — nl. $= 2g_0$ — doch bij stijgende frequentie gaat zij ten slotte dalen. Zij is een factor $\sqrt{2}$ kleiner geworden bij een hoekfrequentie ω'', welke ongeveer 1,5 $\sqrt{g_0} \cdot \omega'$ bedraagt. De bandbreedte, waarin de versterking grooter dan $2g_0/\sqrt{2}$ is, wordt dus door de correctie ongeveer een factor 1,5 $\sqrt{g_0}$ vergroot. Weliswaar zijn er verschillende oorzaken waardoor in de practijk een zo grote factor niet wordt bereikt — oorzaken waarvan de bespreking hier te ver zou voeren. Niettemin is de bereikbare factor, die in het onderhavige geval 460 kper/sec: 85 kper/sec = 5,4 bedraagt, aanmerkelijk groter dan wat men kan verkrijgen met de methode die in het in noot [2]) aangehaalde artikel werd besproken. Daar werd het afnemen van Z_a bij toenemende frequentie tegengegaan door het opnemen van extra schakelelementen (bijv. één of twee spoelen en een condensator) in elke anode-impedantie. Men kan daarbij de bandbreedte met een factor van niet meer dan ca 3 opvoeren, zonder dat nieuwe moeilijkheden ontstaan, waarop wij hier niet kunnen ingaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De generator voor de tijdasspanning

In het artikel vermeld in noot [1]) wordt een schakeling voor het opwekken van de tijdasspanning beschreven die gebruik maakt van drie buizen. In de nieuwe oscillograaf kon de schakeling veel eenvoudiger worden gehouden; de tijdasspanning



50021

Fig. 8. Principeschema van de tijdbasis-schakeling. De condensator C_t wordt geladen uit een spanningsbron E_0 over een regelbare weerstand R_t, en, bij gesloten schakelaar S, ontladen over de veel kleinere weerstand R_d. In werkelijkheid is S een buis (zie fig. 9*a*). R_g = ingangspotentiometer van een versterker.

wordt door slechts één buis opgewekt, maar om een amplitude van voldoende grootte te krijgen is nu versterking nodig. Daarvoor beschikt men over de versterker A_h (fig. 1*b*). Zo doen hier voor de tijdasspanning dus toch weer drie buizen dienst, waarvan er echter — in tegenstelling met wat bij de oude schakeling het geval was — twee, nl. die van de versterker, ook voor andere doeleinden dienstig kunnen zijn.

In wezen is de schakeling als in *fig. 8* is voorgesteld. Een condensator C_t wordt, bij geopende schakelaar S, over een weerstand R_t uit een gelijkspanningsbron E_0 geladen; bij gesloten schakelaar ontlaadt hij zich over de weerstand R_d. De functie van de schakelaar wordt in werkelijkheid door een buis vervuld, waarop wij aanstonds terugkomen.

Zowel tijdens het laden als tijdens het ontladen van C_t verloopt de spanning e_c aan deze condensator volgens een exponentiële functie van de tijd, dus essentieel niet lineair. Evenmin zal dus de horizontale snelheid van de lichtvlek op het scherm constant zijn, als men e_c aan de deflectieplaten voor de horizontale uitslag toevoert. Deze niet-lineariteit is echter verwaarloosbaar klein, als men de amplitude E_c van e_c maar klein houdt in vergelijking met E_0.

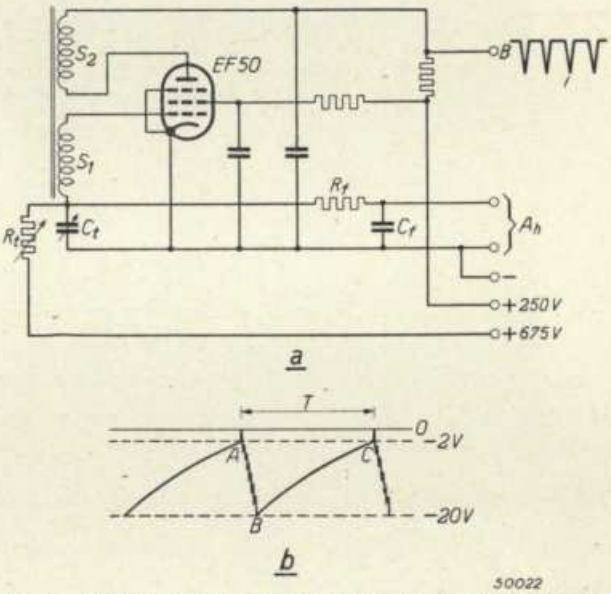
Een eenvoudige berekening leert dat de procentuele snelheidsvariatie D gedurende de beweging van de lichtvlek van links naar rechts — waarbij D gedefinieerd is als $D = (v - v')/v$, met v = snelheid aan het begin, v' = snelheid aan het eind van de tijdas —, geschreven kan worden als

$$D = \frac{E_c}{E_0} \cdot R_t \cdot \left(\frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_g}\right).$$

Hierin is R_g de ingangsweerstand van de versterker, die voortdurend aan C_t parallel staat.

Men ziet, dat voor $R_g \geqq R_t$ de snelheidsvariatie D een- tot tweemaal de verhouding E_c/E_0 bedraagt. Gebruikt men voor E_0 de spanning waarmee de versterkers worden gevoed (waarvoor wij boven de waarde van 675 V hebben afgeleid), dan is met $E_c = 20$ V de snelheidsvariatie beperkt tot minder dan 6%, wat in de practijk niet als hinderlijk wordt ondervonden.

Zoals reeds werd opgemerkt, wordt de functie van de schakelaar S in fig. 8 vervuld door een buis, en wel door een penthode type EF 50, zie *fig. 9a*. Deze wordt in de toestand van zg. overgenereren [5]) gebracht, dwz. zij oscilleert telkens gedurende een korte tijd, waarin de aan de condensator C_t gevormde negatieve roosterspanning snel oploopt van ca −2 tot −20 V (*AB* in fig. 9*b*), bij welke laatste waarde de steilheid zoo klein is geworden dat het oscilleren ophoudt. Een bron met hoge spanning (675 V) levert nu over de weerstand R_t lading in tegengestelde zin, waardoor de roosterspanning weer tot −2 V nadert en het oscilleren opnieuw kan beginnen. De relaxatietijd T (fig. 9*b*) kan tussen wijde grenzen worden ingesteld door variatie van C_t en R_t; in de oscillograaf



50022

Fig. 9. *a*) Schema van de generator voor de tijdasspanning. *b*) Verloop van de spanning aan de roostercondensator C_t. De penthode EF 50 wordt door de terugkoppeling S_2-S_1 in een toestand van „overgenereren" gebracht. De roosterstroom laadt hierbij C_t al spoedig zo hoog op dat de gevormde negatieve roosterspanning (20 V) de anodestroom blokkeert (kromme *AB* in *b*). C_t ontlaadt zich vervolgens door de weerstand R_t (kromme *BC* in *b*), tot bij ca −2 V het oscilleren opnieuw inzet. Doordat R_t met een punt met een hoge positieve potentiaal is verbonden, verkrijgt men een nagenoeg lineair spanningsverloop *BC*. De spanning aan C_t wordt over een filter R_f-C_f, dat de hoge oscillatiefrequentie uitzeeft, aan de versterker A_h voor de horizontale uitslag toegevoerd (vgl. fig. 1*b*). Bij *B* kunnen spanningsimpulsen ter onderdrukking van de electronenstraal tijdens het teruglopen worden afgenomen.

[5]) Zie bijv. J. van Slooten, De werkingswijze van triode-oscillatoren met roostercondensator en roosterweerstand, Philips techn. T. 7, 40-45, 1942, en Stabiliteit en instabiliteit bij triode-oscillatoren, Philips techn. T. 7, 171-177, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GM 3159 is de daarmee corresponderende frequentie regelbaar van 10 per/sec tot $150 \cdot 10^3$ per/sec. De spanning aan C_t zou volgens een sterk gekromde lijn BC verlopen, als R_t en C_t direct parallel waren geschakeld; met de schakeling volgens fig. 9*a* echter, waarbij in serie met R_t een bron van hoge spanning is opgenomen, verkrijgt men een nagenoeg lineair verloop (fig. 9*b*).

In de versterker A_h wordt de zaagtandspanning van C_t op een voldoende grootte gebracht om een uitslag over de volle breedte van het scherm te kunnen geven; met de potentiometer Z_4 (fig. 1*b*) kan men deze uitslag regelen.

De zaagtandspanning is bovendien naar een afzonderlijke klem gevoerd, om haar ook voor andere, buiten de oscillograaf gelegen doeleinden te kunnen gebruiken, bijv. voor metingen aan versterkers [6]), zodat men hierbij een afzonderlijke signaalgenerator kan ontberen.

Het ogenblik waarop de steilheid weer groot genoeg wordt om het oscilleren opnieuw te doen inzetten, kan men beïnvloeden door aan het stuurrooster een extra wisselspanning toe te voeren. Aldus kan men reeds met een kleine spanning synchronisatie verkrijgen tussen de frequentie van de tijdasspanning en die van de genoemde extra spanning.

Daar de buis alleen in het korte oscilleer-interval anodestroom opneemt, treden aan het einde B (fig. 9*a*) van een in de anodekring opgenomen weerstand negatieve spanningsimpulsen op. Deze kan men, door ze aan het stuurrooster van de electronenstraalbuis toe te voeren, toepassen om de straal tijdens de terugloop te onderdrukken. Het beeld wint hierdoor vaak aan duidelijkheid, doch er ontbreekt dan een klein gedeelte van het oscillogram. Wil men dit niet missen, dan dient men de straalonderdrukking uit te schakelen, wat op eenvoudige wijze mogelijk is.

De constructie van het apparaat

Het uiterlijk van de oscillograaf GM 3159 (*fig. 10*) wijkt niet essentieel af van dat van zijn voorgangers. Meer is er over het inwendige te zeggen, en wel over een verbeterde magnetische afscherming en over een nieuwe wijze van montage.

Gebruikt men een kathodestraaloscillograaf op een plaats waar een aanzienlijk magnetisch veld heerst — bijv. in de nabijheid van transformatoren, electromotoren en dergelijke —, dan zou dit veld de electronenbundel op hinderlijke wijze kunnen afbuigen, als de oscillograafbuis niet voldoende magnetisch is afgeschermd. Het is dan ook gebruikelijk, de buis in een magnetisch goed geleidende koker te plaatsen. Het effect hiervan wordt uitgedrukt door de afschermfactor, gedefinieerd als de verhouding van de magnetische veldsterkte buiten de koker tot die er binnen. Hoe dikker de wand van de koker is en hoe hoger de permeabiliteit van het materiaal waaruit hij bestaat, des te groter is de afschermfactor. Door bij de nieuwe oscillograaf de koker te vervaardigen van een legering met een zeer hoge permeabiliteit, is het gelukt de afschermfactor van 12 op 500 te brengen en tegelijk het gewicht van de koker van 600 g tot 130 g te reduceren. Dank zij de verbeterde magnetische afscherming kan men de nieuwe oscillograaf gebruiken in ruimten met vrij sterke magnetische stoorvelden.

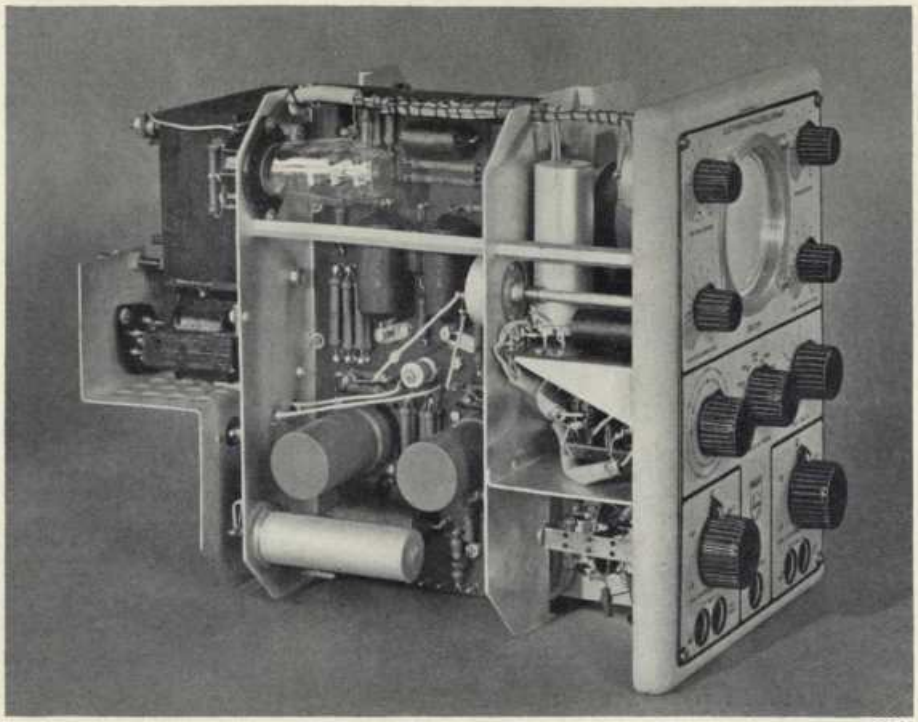
Om de in het apparaat ontwikkelde warmte zo goed mogelijk af te voeren, zijn horizontale schotten, die de natuurlijke luchtstroming zouden

Fig. 10. Het uitwendige van de kathodestraaloscillograaf GM 3159. Aan weerszijden van het scherm, bovenaan, de instellingen voor helderheid en scherpte van de lichtvlek, daaronder die voor horizontale en verticale beeldamplitude (weerstand R_p in fig. 7). Middelste rij knoppen, van links naar rechts: de schakelaar S van fig. 1*b*, de grove en de fijne instelling van de frequentie der tijdasspanning. De onderste twee knoppen bedienen de ingangspotentiometers van de versterkers. Geheel onderaan, links en rechts, de aansluitbussen der ingangen II en I (vgl. fig. 1*b*); in het midden de bus waarvan een zaagtandspanning kan worden afgenomen voor metingen aan bijv. versterkers. Over de frontplaat kan een kap worden bevestigd ter bescherming van de kathodestraalbuis en de knoppen tijdens transport.

[6]) Het gebruik voor dergelijke doeleinden van spanningen met een krommevorm die sterk van een sinus afwijkt, is beschreven door J. Haantjes, Het beoordeelen van een versterker door middel van de sprongkarakteristiek, Philips techn. T. **6**, 193-201, 1942, in welk artikel het gebruik van een blokvormige spanning wordt behandeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

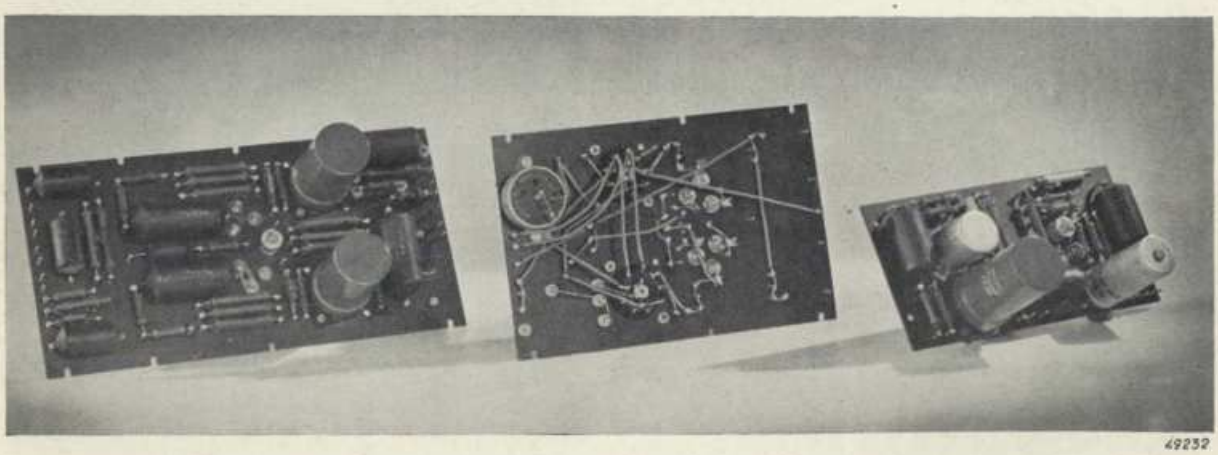


49822

Fig. 11. Het inwendige van de oscillograaf GM 3159. Het compartiment links bevat het voedingsgedeelte, het middelste de beide versterkers. De lege ruimte links is door een luikje in de achterwand van de kast toegankelijk en kan worden gebruikt voor het opbergen van snoeren.

belemmeren, zoveel mogelijk vermeden. Het inwendige van de oscillograaf is door verticale metalen wanden (*fig. 11*) in drieën verdeeld; deze wanden fungeren als afscherming tussen onderdelen die elkaar anders hinderlijk zouden beïnvloeden. In het middelste compartiment zijn ruggelings de twee versterkers aangebracht, elk gemonteerd op een isolerend paneel, zoals *fig. 12* laat zien. In deze platen zijn pennen van messing geperst, waaraan enerzijds de electrische onderdelen, anderzijds de bedrading is gesoldeerd. Deze laatste kan hierdoor zeer kort worden gehouden, terwijl zij tevens, evenals de onderdelen zelf, goed gefixeerd is, zoodat hinderlijke capaciteitsveranderingen door verschuiving zijn uitgesloten. Uit het oogpunt van fabricage heeft de methode het voordeel dat de eenheden zooals fig. 12 ze toont, van te voren gemonteerd en gecontroleerd kunnen worden.

Ten slotte zij nog vermeld dat de afmetingen $21 \times 27 \times 37$ cm bedragen en dat het gewicht 13 kg is. Vergeleken met bijv. de oscillograaf GM 3152 betekent dit een vermindering van ca 25 % in volume en van ruim 30% in gewicht, hetgeen uiteraard de handigheid in het gebruik ten goede komt.



49232

Fig. 12. Op isolerende panelen gemonteerde eenheden: links één der balansversterkers (voorzijde), in het midden de andere versterker (achterzijde), rechts de generator voor de tijdasspanning. (De beide versterkerpanelen zijn niet even groot omdat op het ene ook enkele onderdelen die tot het voedingsgedeelte behoren, een plaats moeten vinden.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

KEURING OP NACHTBLINDHEID

door W. S. FREDERIK.

612.845.6-073

Voor bepaalde beroepen of werkzaamheden kan een onvoldoende donker-adaptatie (nachtblindheid) bezwaarlijk zijn. In sommige gevallen, bijv. wanneer dit vrijstelling van nachtarbeid voor de betrokkene met zich meebrengt, zal men met de mogelijkheid van simulatie van nachtblindheid moeten rekening houden. Toen zich bij de N.V. Philips een dergelijke situatie voordeed, is door de Medische Afdeling dezer N.V. een eenvoudige methode ontwikkeld om personen op nachtblindheid te keuren onder uitsluiting van simulatie. Deze methode, die in de practijk goed heeft voldaan, komt er op neer, dat de proefpersoon gedurende de donker-adaptatie een op bepaalde wijze samengestelde letterkaart moet bekijken, waarop hij naar gelang van de adaptatietoestand verschillende woorden leest.

Het menselijk oog vermag onder gunstige omstandigheden nog helderheden waar te nemen van 0,000 003 k/m², terwijl naar de kant van hoge helderheden het zien eerst beperkt wordt door de pijngrens, die ligt bij 200 000 k/m². Voor het bestrijken van dit buitengewoon grote helderheidsgebied bevat het netvlies twee soorten lichtgevoelige elementen: de kegeltjes, die in functie zijn bij hoge helderheden, zoals zij bij daglicht voorkomen, en de staafjes, die de functie van het zien geleidelijk overnemen bij helderheden van het gezichtsveld lager dan ca 3 k/m² (d.i. ongeveer de helderheid waarbij automobilisten hun lampen plegen te ontsteken).

De staafjes bevatten als lichtgevoelige stof het zg. staafjesrood (ook wel gezichtspurper genoemd), dat wordt opgebouwd uit eiwit en vitamine A. Van de kegeltjes onderstelt men, dat zij drie verschillende lichtgevoelige stoffen bevatten; deze heeft men echter nog niet kunnen isoleren. Men stelt zich nu verder voor, dat de lichtgevoelige stoffen in het oog bij het zien voortdurend zouden worden aangemaakt, terwijl zij ter zelfder tijd onder invloed van het licht dat in het oog valt, zouden worden afgebroken. Tussen aanmaak en afbraak zou zich een evenwicht instellen, dat de concentratie van de lichtgevoelige stoffen bepaalt, en wel zou er, aangezien de afbraak langzamer verloopt naarmate er minder licht in het oog valt, des te meer lichtgevoelige stof aanwezig zijn naarmate de helderheid geringer wordt. Op deze wijze wordt een doeltreffende aanpassing van de ooggevoeligheid aan het helderheidsniveau verkregen.

Voor de nog onbekende lichtgevoelige stoffen in de kegeltjes is het geschetste mechanisme uiteraard zuiver hypothetisch. Voor het staafjesrood echter heeft men de gegeven voorstelling door experimenten kunnen staven. Het „in functie treden" van de staafjes, waarvan hierboven werd gesproken, kan men nu eenvoudig aldus begrijpen, dat bij een helderheid hoger dan ca 3 k/m² het evenwicht voor het staafjesrood door de snelle ontleding practisch bij de concentratie nul ligt, terwijl bij lagere helderheden de concentratie geleidelijk stijgt [1]).

De vorming van het staafjesrood vergt enige tijd. Iedereen kan dit gemakkelijk constateren, wanneer hij op een donkere avond uit een helder verlicht vertrek naar buiten gaat: het duurt in het algemeen enige minuten vóór men zich in de donkere straat voldoende kan orienteren. De toestand van practisch volledige donker-adaptatie wordt eerst na een half uur of later bereikt, al is in het algemeen de stijging van de lichtgevoeligheid in de eerste 10 minuten het belangrijkst en neemt daarna de gevoeligheid nog slechts relatief weinig toe.

Het proces van de donker-adaptatie verloopt niet bij alle mensen op dezelfde wijze. Onderzoekt men een grote groep proefpersonen, dan blijkt bij een deel de lichtgevoeligheid langzamer dan normaal toe te nemen, doch tenslotte toch een normale waarde te bereiken. Bij een ander deel wordt ook na lange aanpassingstijd niet de normale maar slechts een geringere lichtgevoeligheid bereikt. De afwijking van deze laatste groep personen wordt, indien de resulterende lichtgevoeligheid beneden een zekere grens ligt, nachtblindheid (hemeralopie) genoemd. In een aantal gevallen blijkt de afwijking veroorzaakt te worden door een gebrek aan vitamine A, hetgeen na het boven vermelde over de vorming van het staafjesrood wel begrijpelijk is.

Personen met gebrekkige donker-adaptatie hebben in het donker, bijv. des avonds op een onvoldoend verlichte straat, moeilijkheden met de orientatie. Er zijn allerlei beroepen waarvoor zulke

---

[1]) Waarom de kegeltjes, waarin volgens ons primitieve beeld bij deze helderheden juist zeer veel lichtgevoelige stof aanwezig moet zijn, hier geleidelijk buiten functie treden, is hiermede nog niet verklaard. Men kan het toeschrijven aan het bestaan van een absolute drempel voor de lichtgevoeligheid dezer elementen, die in het helderheidsgebied tussen ca 0,03 en 3 k/m² zou liggen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

personen daarom niet in aanmerking kunnen komen, zoals het beroep van chauffeur en sommige functies bij de spoorwegen, de scheepvaart, de vliegdienst, de politie. De keuring van sollicitanten voor dergelijke functies behoort dus ook een onderzoek op nachtblindheid te omvatten. De hiervoor gebruikelijke methoden berusten vrijwel alle op hetzelfde principe: de proefpersoon wordt, na een verblijf van enige tijd in een helder verlicht vertrek, in een zeer spaarzaam verlichte ruimte gebracht, waar hij dan binnen een zekere tijd bepaalde voorwerpen moet herkennen.

Wanneer de proefpersoon er belang bij heeft goedgekeurd te worden, levert een dergelijke keuring weinig moeilijkheden op. Het kan echter ook voorkomen, dat de proefpersoon liever afgekeurd wordt. Wanneer bijv. het constateren van nachtblindheid de vrijstelling van nachtdienst tot gevolg heeft, kan een ter keuring verwezen candidaat nachtblindheid willen voorwenden. Hij behoeft hiertoe bij de hierboven geschetste keuringsmethode slechts vol te houden, dat hij van de te herkennen voorwerpen geen enkel ziet. Het is dan niet gemakkelijk zulk een simulant te ontmaskeren, en onmogelijk de werkelijk aanwezige mate van donker-adaptatie te bepalen.

Ook bij de N.V. Philips heeft zich het geval voorgedaan dat bij een groep werknemers met de mogelijkheid van nachtblindheid en eventuele simulatie daarvan rekening moest worden gehouden. Toen nu geconstateerd werd, dat er geen eenvoudige methode bekend was om deze personen op nachtblindheid te keuren met uitsluiting van simulatie, is door de Medische Afdeling der Philipsfabrieken een eenvoudig apparaat gemaakt, dat hierin voorziet en dat in de praktijk goed heeft voldaan.

De keuring wordt verricht met het in *fig. 1* schematisch weergegeven toestel. In een lichtdichte kast is een letterkaart geplaatst, die aanstonds nader zal worden beschreven. De kaart wordt door een gloeilampje via een diffuus reflecterend scherm verlicht met een bepaalde, geringe verlichtingssterkte, die door middel van een, vóór het lampje

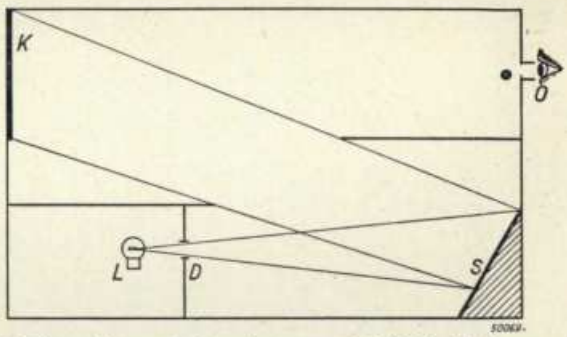


Fig. 1. Toestel voor de keuring op nachtblindheid. De proefpersoon kijkt door de spleet O in de lichtdichte kast naar een bij K geplaatste letterkaart. Deze wordt door een of meer lampjes L via het regelbare diafragma D en het diffuus reflecterende scherm S verlicht. De horizontale schotten zorgen er voor, dat geen direct licht van D in het oog van de waarnemer kan vallen.

geplaatst, regelbaar diafragma nog kan worden gevarieerd. Nadat men de proefpersoon gedurende 10 minuten onder gestandaardiseerde omstandigheden aan een bepaald hoog helderheidsniveau heeft laten adapteren, maakt men de kamer geheel donker en laat men de proefpersoon op gezette tijden, bijv. met tussenpozen van 1 minuut, door een spleet in het kastje naar de letterkaart kijken.

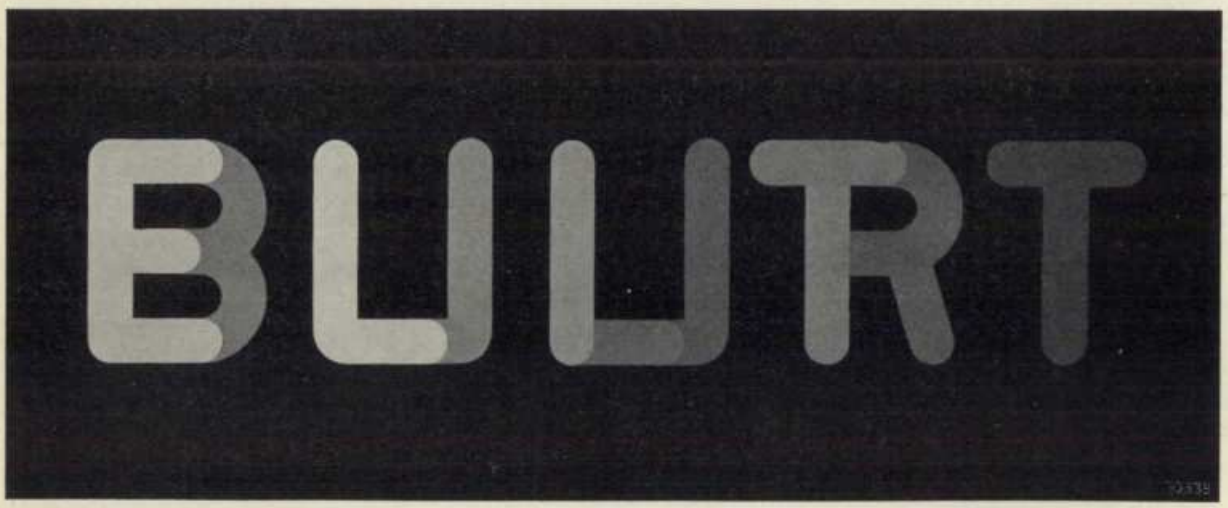


Fig. 2. Letterkaart die voor de keuring wordt gebruikt. De op een zwarte achtergrond geschilderde letters zijn uit vijf verschillende tinten grijs samengesteld, zodanig dat er bij successievelijk weglaten van de donkerste tinten telkens een ander woord overblijft. Hoe beter het oog geadapteerd is, des te donkerder tint kan het nog juist waarnemen, des te volledíger woord kan het dus lezen. Met voortschrijdende adaptatie leest derhalve de proefpersoon achtereenvolgens de woorden: EL - BUI - BULT - BUUR - BUURT.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De letterkaart is in *fig. 2* weergegeven. Zij bevat op een zwarte achtergrond het woord BUURT. Zoals men in de figuur ziet, bestaat elke letter uit verschillende delen, die met grijze tinten met verschillende reflectiefactor zijn geschilderd. Elke letter is daarbij zodanig in stukken verdeeld, dat bij weglaten van het donkerste stuk (het stuk met de kleinste reflectiefactor) een andere letter overblijft, en eventueel bij weglaten van het donkerste deel van deze nieuwe letter nogmaals een andere letter. Zo ontstaat bijv. uit de U een L, en uit de L een I. Beschouwen we het geschilderde woord in zijn geheel en laten wij van de vijf hierbij gebruikte tinten telkens de donkerste weg, dan lezen wij achtereenvolgens de woorden: BUURT - BUUR - BULT - BUI - EL.

De verlichtingssterkte van de letterkaart wordt nu zodanig gekozen, dat een volledig donkergeadapteerde, normale proefpersoon het gehele woord BUURT kan lezen. Bij de eerste blik in de spleet van het toestel echter onderscheidt de proefpersoon in het algemeen nog niets, daar hij vooraf aan een vrij hoog helderheidsniveau is geadapteerd en dus een geringe lichtgevoeligheid bezit. Na enige tijd is zijn gevoeligheid zover gestegen dat hij de helderste tint op de letterkaart kan zien; hij neemt dus het woord EL waar. Weer iets later is hij voldoende geadapteerd om, als hij nu in de spleet kijkt, het woord BUI te kunnen lezen, enz. Het opvallende is daarbij, dat men in een bepaalde adaptatietoestand bij een korte blik op de letterkaart slechts één woord gewaar wordt, dus bijv. in de laatstvermelde toestand niet de noodzaak bespeurt tussen BUI en EL te kiezen. Bij het lage helderheidsniveau van de letterkaart is nl. de contrastgevoeligheid van het menselijk oog (d.i. het vermogen om kleine helderheidsverschillen waar te nemen) veel geringer dan bijv. bij daglicht, en in de vijf gebruikte grijze tinten is het contrast tussen twee opeenvolgende zo klein gemaakt (verhouding 1:1,7 der reflectiecoëfficienten), dat het bij de genoemde lage helderheid, vooral bij slechts korte waarneming, vrijwel onopgemerkt blijft. (De woordenreeks is zo opgebouwd, dat twee aan elkaar grenzende letterdelen altijd één trap in reflectiefactor verschillen.) Het gevolg hiervan is, dat de proefpersonen die met de structuur van de letterkaart niet bekend zijn, niet dadelijk merken hoe bij opeenvolgende kijkbeurten de verschillende woorden uit elkaar ontstaan [2]).

De verdere gang van zaken is nu als volgt. Elke keer als de proefpersoon door de spleet van het toestel kijkt, laat men hem opgeven, welk woord hij leest. Aan de vijf gevoeligheidstrappen van het oog, die corresponderen met het kunnen lezen van de vijf verschillende woorden, worden de cijfers 1 tot 5 toegekend. Bij het woord EL hoort dus de gevoeligheidswaarde 1, bij BUI de waarde 2, enz. Zet men de bij de keuring gevonden gevoeligheidswaarden als functie van de tijd uit, dan verkrijgt men voor elke proefpersoon een kromme die het verloop van zijn adaptatie weergeeft. In *fig. 3* zijn enige aldus verkregen krommen getekend.

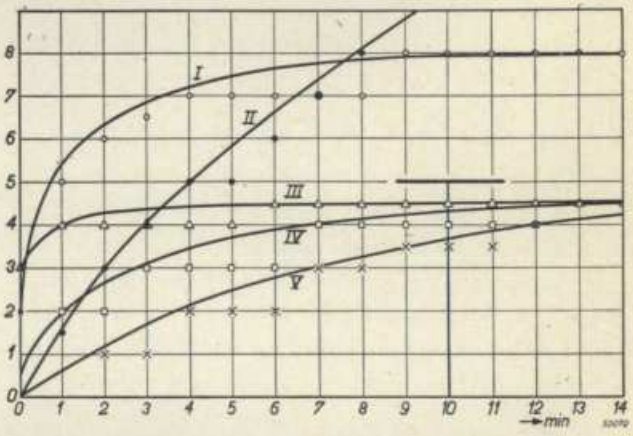


Fig. 3. Verloop van de donker-adaptatie voor vijf verschillende proefpersonen. Aan de ooggevoeligheid wordt een der waarden 1 tot 5 toegekend, overeenkomende met het kunnen lezen van de vijf opeenvolgende woorden van de letterkaart. De gevoeligheidswaarde is als functie van de adaptatietijd uitgezet. De voortzetting der krommen boven de waarde 5 is verkregen op de in de tekst beschreven wijze.

De drie vlak verlopende krommen (*III*, *IV* en *V*), die bij de abscis 10 minuten nog beneden de aangegeven grens (gevoeligheid 5) liggen, vertegenwoordigen drie gevallen van nachtblindheid. Hierbij ziet men nog sterke individuele verschillen (evenals trouwens bij de „normale" gevallen *I* en *II*). Bij de proefpersoon *III* verloopt de adaptatie aanvankelijk zeer snel, doch gezien de vorm van de kromme is het onwaarschijnlijk, dat de ooggevoeligheid, ook na verloop van langere tijd, boven de waarde 5 zal stijgen. Daarentegen behoort de proefpersoon *V* tot de groep mensen, bij wie de adaptatie zeer langzaam verloopt, doch misschien op den duur toch nog een behoorlijke gevoeligheid wordt bereikt.

Proefondervindelijk werd nagegaan, hoe bij een gegeven letterkaart en een gegeven verlichtingssterkte de adaptatiekromme verloopt voor normaal adapterende en voor nachtblinde personen. Als „normaal adapterend" werden daarbij beschouwd personen die zich na 10 minuten adaptatie zonder moeite in een donkere straat konden orienteren (een weinig exacte, doch in casu passende definitie). Bij nachtblinde personen worden veel vlakkere

[2]) Voor wie zelf het proefje met de hier gereproduceerde letterkaart wil nemen, om zich te overtuigen van het achtereenvolgens verschijnen der vijf woorden en van het nauwelijks merkbaar worden der contrasten tussen de letterdelen, zij vermeld, dat de kaart met ca 0,0005 lux moet worden verlicht. Dit komt overeen met bijv. het verlichtingsniveau in een maanloze heldere sterrennacht. Is het verlichtingsniveau veel lager, dan loopt men kans nooit het gehele woord te kunnen zien, is het veel hoger, dan worden de contrasten tussen de letterdelen te opvallend.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

krommen gevonden dan normaal. Als criterium voor het bestaan van nachtblindheid hebben wij op grond van de genoemde proeven aangenomen, dat de gevoeligheid van het oog na 10 minuten de waarde 5 nog niet bereikt. Bij de krommen in fig. 3 ziet men drie voorbeelden hiervan.

Men kan desgewenst met dezelfde opstelling het verloop van de adaptatie nog verder volgen dan aan de gevoeligheidstoeneming tot de waarde 5 beantwoordt. Hiertoe wordt, wanneer de gevoeligheid 5 bereikt is (dus het woord BUURT gelezen wordt), de verlichtingssterkte van de letterkaart zoveel verminderd, dat nog slechts het woord EL wordt gezien. Dit woord correspondeert dus thans met de gevoeligheidswaarde 5; aan de hogere gevoeligheidswaarden die bij nog verder voortschrijdende adaptatie worden bereikt en die de proefpersoon achtereenvolgens opnieuw de woorden BUI, BULT enz. doen lezen, worden nu respectievelijk de cijfers 6, 7 enz. toegekend. Voor zover de krommen in fig. 3 boven de ordinaat 5 uit komen, zijn zij op deze wijze bepaald [3]).

Omgekeerd kan men bij elke adaptatietoestand onmiddellijk het volledige woord BUURT leesbaar maken — ook voor een nachtblinde — door de verlichtingssterkte van de letterkaart tot een bepaald niveau op te voeren. Was de proefpersoon bijv. pas zo ver geadapteerd, dat hij het woord BUI kon lezen, dan wordt de gevoeligheidstoeneming die in dat geval nog nodig zou zijn om de drie donkerste tinten op de kaart te kunnen zien en zodoende het woord BUURT te lezen, eenvoudig overbodig gemaakt, doordat deze drie tinten bij de hogere verlichtingssterkte zoveel helderder worden. Zou een proefpersoon hierbij volhouden, dat hij slechts het woord BUI kan lezen, dan is zonder twijfel simulatie in het spel. Een dergelijk geval deed zich echter in de practijk nooit voor, aangezien het bij de hier beschreven methode de proefpersonen ten enenmale ontging, op welke wijze de keurende arts de suggestie van nachtblindheid opgedrongen zou moeten worden.

We vermelden ten slotte nog enige bijzonderheden bij de uitvoering van de methode. Daar de gezichtsscherpte bij lage helderheden sterk verminderd is, moeten de letters vrij groot worden gemaakt. In de door ons gebruikte opstelling besloeg het woord BUURT een oppervlak van 10 × 50 cm, terwijl het op 40 cm afstand werd gezien. De nodige variatie in de verlichtingssterkte van de letterkaart werd verkregen door als lichtbron in plaats van één lampje verscheidene lampjes in te schakelen en/of door de opening van het diafragma (*D* in fig. 1) te veranderen. De meer voor de hand liggende methode van regeling met een, in serie met het gloeilampje geschakelde, schuifweerstand is opzettelijk niet toegepast, omdat dan bij verzwakking van het licht tevens een verschuiving van de lichtkleur naar het rood optreedt. Daar de ooggevoeligheid sterk van de lichtkleur afhangt, zouden hierdoor fouten in de beoordeling van de adaptatietoestand worden veroorzaakt.

Een geringe, voor ons doel weinig storende fout kan nog ontstaan, doordat de „zwarte" achtergrond van de letterkaart toch een klein gedeelte van het er op vallende licht reflecteert. Men kan deze fout vermijden door het toestel zo te construeren, dat de letterkaart in doorvallend licht wordt bekeken. De letterkaart is voor dit geval ook iets gemakkelijker te maken: de letters worden uit een metalen plaat gezaagd en de verschillende letterdelen worden hierna beplakt met doorschijnend papier in een verschillend aantal lagen.

Het zou geen principiële moeilijkheden bieden de relatieve ijking van het apparaat, met de willekeurige schaal van gevoeligheidswaarden 1 tot 5, te vervangen door een absolute ijking. Het zou dan mogelijk zijn met het toestel absolute gegevens omtrent het adaptatieverloop der onderzochte personen te verkrijgen. Dit viel echter buiten het doel dat wij ons hadden gesteld.

---

[3]) Door een bepaalde kleine variatie van de verlichtingssterkte kan men ook tussentrappen van de ooggevoeligheid, dus waarden van bijv. $1^1/_2$, $2^1/_2$ enz. meetbaar maken. Dergelijke tussenwaarden komen bij de krommen in fig. 3 herhaaldelijk voor.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET INLOPEN VAN RIJWIELDYNAMO'S

49467

De laatste handelingen bij de fabricage van rijwieldynamo's zijn het inlopen, het bijstellen van het aandrijfwieltje (d.i. het reduceren van de axiale speling tot het minimum), en de mechanische en electrische contrôle.

Voor het inlopen worden telkens bijv. 24 dynamo's, die op een grote, in verschillende posities te draaien schijf zijn vastgeklemd, gelijktijdig aangedreven door één wiel met rubberband, met dezelfde diameter als een normaal fietswiel en een omtreksnelheid overeenkomende met een rijwielsnelheid van ca 15 km per uur. Voor elke dynamo die van de schijf genomen wordt om te worden bijgesteld, wordt een nieuwe in de plaats gezet, terwijl tevens de schijf in de volgende positie wordt gedraaid. De inlooptijd van elke dynamo bedraagt aldus ca 20 minuten, daar voor het bijstellen van een dynamo ongeveer één minuut nodig is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

TOEPASSINGEN VAN LUMINESCERENDE STOFFEN

door F. A. KRÖGER.

535.376:661.4

Luminescerende stoffen worden toegepast, wanneer men stralen, die voor het menselijk oog onzichtbaar zijn, zichtbaar wil maken. Deze onzichtbare stralen kunnen electronenbundels zijn (in kathodestraalbuizen voor oscillografen, televisie- en radarapparaten) of röntgenstraling of ultraviolette straling (in gasontladingslampen) of ook infrarode straling. Nagegaan wordt welke luminescerende stoffen in elk van deze gevallen het meest geschikt zijn.

Inleiding

In de techniek komt men meermalen voor de opdracht te staan stralen, die voor het menselijk oog onzichtbaar zijn, zichtbaar te maken. De aanvankelijk onzichtbare stralen kunnen van zeer verschillende aard zijn. Men kan te doen hebben met electromagnetische trillingen van zeer uiteenlopende golflengte of ook met snel bewegende electronen.

Bij kathodestraalbuizen, waarvan oscillografen, televisie- en radarapparaten de voornaamste toepassingen zijn, is het een electronenbundel, die zichtbaar gemaakt moet worden. De medici ontmoeten hetzelfde probleem bij de doorlichting van hun patienten met behulp van röntgenstralen. Omzetting van ultraviolette straling in zichtbaar licht wordt toegepast in moderne gasontladingslampen. Tenslotte noemen we nog het zichtbaar maken van infrarode straling, dat vooral tijdens de laatste oorlog naar voren gekomen is.

Niet altijd wordt uiteindelijk zichtbaar licht verlangd. Soms is het nodig de een of andere straling om te zetten in bijv. ultraviolette van een geschikte golflengte. Met name is dit het geval in bestralingslampen, waarbij een ultraviolette straling met een bepaalde golflengte specifieke werkingen op organismen uitoefent. Toepassingen hiervan zijn o.a. antirachitische en bacteriedodende lampen en de zg. bruinbrandlampen.

In al dergelijke gevallen wordt gebruik gemaakt van stoffen, die de eigenschap bezitten, dat zij de gewenste transformatie kunnen bewerkstelligen. Daar het in de meeste gevallen om zichtbaar licht te doen is, noemt men deze stoffen luminescerende stoffen of luminoforen.

Het tot stand komen van de omschreven transformatie noemt men luminescentie. Daarbij moeten twee effecten onderscheiden worden. De fluorescentie is een proces, dat gedurende de bestraling overheerst. De eerst geabsorbeerde energie wordt daarbij weer uitgezonden, maar na het ophouden van de bestraling verdwijnt dit verschijnsel meestal in een korte tijd (10^{-5}-10^{-1} sec). De fosforescentie is daarentegen vooral van belang na het afbreken van de bestraling. De duur van deze fosforescentie kan zeer verschillend zijn, daar zij afhankelijk is van verschillende omstandigheden, waaronder de temperatuur een eerste plaats inneemt. Nalichttijden van enkele uren, soms dagen, zijn hierbij bereikbaar.

Deze enigszins globale omschrijving der beide effecten is voor dit artikel voldoende. Wanneer wij nader zouden ingaan op de theorie der luminescentieverschijnselen zouden scherpere definities, waarbij gelet wordt op het mechanisme der atoomprocessen, die de waargenomen verschijnselen veroorzaken, noodzakelijk zijn. Hierover is echter reeds meermalen in dit tijdschrift geschreven. Alleen herinneren we aan de wet van Stokes, die zegt, dat electromagnetische straling na absorptie door luminescerende stoffen steeds wordt omgezet in straling van grotere golflengte, die dan als fluorescentie geëmitteerd wordt [1]).

De luminescerende stoffen, die gebruikt worden, zijn van geval tot geval verschillend. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de voornaamste toepassingen en van de stoffen, die daarvoor bij de huidige stand der ontwikkeling in aanmerking komen.

De voorwaarden, die aan deze stoffen gesteld worden, kan men globaal in een drietal groepen indelen. In de eerste plaats hebben wij te maken met eisen, die verband houden met het transformatie-mechanisme. De opvallende straling moet op geschikte wijze worden geabsorbeerd, terwijl de geabsorbeerde energie niet in warmte moet worden omgezet, doch in de gewenste luminescentiestraling. Ten tweede zijn er voorwaarden, die bepaald worden door de eigenschappen, welke van de opgewekte fluorescentiestraling verwacht worden, zoals bijv. de spectrale verdeling daarvan en de duur van het nalichten. Tenslotte moeten de stoffen, die behoudens een enkele uitzondering in poedervorm verkregen worden, in dunne, egale laagjes kunnen worden aangebracht. De mogelijkheid hiervan

[1]) Voor een nadere beschouwing van het verband tussen absorptie, aanslag en fluorescentie raadplege men de artikelen van W. de Groot, resp. J. H. Gisolf en W. de Groot in Philips techn. T. **3**, 129-136 en 245-251, 1938 en dat van F. A. Kröger in Philips techn. T. **6**, 353-362, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

houdt verband zowel met de absolute als met de relatieve grootte der deeltjes, terwijl het ook nodig is, dat de stoffen tijdens de fabricage geen chemische veranderingen ondergaan (bijv. als gevolg van het gebruik van plakmiddelen).

Wij zullen verschillende van deze punten bij de bespreking van bepaalde gevallen wat uitgebreider bezien, waarbij dan tevens zal worden nagegaan in hoeverre de ontwikkeling der luminoforen voldoende is voortgeschreden om aan deze eisen te voldoen.

Luminescerende stoffen voor kathodestraalbuizen

Kathodestraalbuizen worden voor verschillende doeleinden gebruikt, waarvan de belangrijkste zijn:
1) oscillografen,
2) televisie-ontvangtoestellen,
3) radarapparaten.

Oscillografen

Men zal oscillograafbuizen naar gelang van het doel, waar zij voor bestemd zijn, verschillende uitvoeringen geven. Bij visueel gebruik is een groene fluorescentie gewenst, waarbij men soms een kort en in andere gevallen een lang nalichten zal verlangen. Kort nalichtend groen wordt verkregen met behulp van ZnS-Cu-Ni of $(Zn,Mn)_2SiO_4$. Bij de eerste stof berust de luminescerende eigenschap op de aanwezigheid van sporen van vreemde elementen (Cu en Ni), die in het kristalrooster van ZnS zijn opgenomen, wat aangegeven wordt met de schrijfwijze ZnS-Cu-Ni. In het tweede geval is het toegevoegde element in een veel groter percentage aanwezig, zodat men met een mengkristal te doen heeft. Dit is aangegeven met de schrijfwijze (Zn,Mn). Lang nalichtend groen verkrijgt men met ZnS-Cu of $(Zn,Mn)_2SiO_4$-As. Van de stof ZnS-Cu is bekend, dat het nalichten bij aanslag door ultraviolet van lange golflengte of blauw licht veel langer duurt dan bij aanslag door kathodestralen. Het is daardoor mogelijk de duur van het nalichten aanzienlijk te verlengen door de inschakeling van een tweede luminescerende stof, waarin de kathodestralen violet licht opwekken, dat dan in tweede instantie de groene fluorescentie en het nalichten (de fosforescentie) bewerkstelligt. Hetzelfde geldt voor geel lichtend (Zn,Cd)S-Cu ook bij aanslag met blauw licht. De gunstigste uitvoering is een dubbel scherm bestaande uit een laag geel lichtend (Zn,Cd)S-Cu op de glaswand en een tweede laag van blauw fluorescerend ZnS-Ag, $CaWO_4$, $Zn_2(Si,Ti)O_4$ of $(Ca,Mg)SiO_3$-Ti daar boven op.

Is fotografische registratie gewenst, dan biedt een blauw oplichtend scherm voordelen. In dit geval kunnen we met een enkel scherm van één der laatstgenoemde stoffen volstaan.

Televisie-ontvangtoestellen

In televisie-ontvangers wordt een electrisch signaal door middel van een kathodestraalbuis in een zichtbaar beeld omgezet. Dit beeld kan op de buis zelf worden waargenomen (zg. direct-zichttelevisie) of het wordt met een lens- of spiegelsysteem vergroot afgebeeld op een transparant scherm (televisie met projectiebuis).

We moeten onderscheid maken tussen zwart-wit- en kleurentelevisie.

Bij de zwart-wit-televisie wordt aan de fluorescerende stoffen, die het scherm vormen, de eis gesteld, dat zij een redelijk wit licht uitstralen, wanneer zij door kathodestralen getroffen worden. Deze witte kleur moet zoveel mogelijk onafhankelijk zijn van de intensiteit van de kathodestraal. Voorts mogen de luminescerende stoffen niet nalichten, daar anders achter snel bewegende voorwerpen hinderlijke lichtvegen optreden.

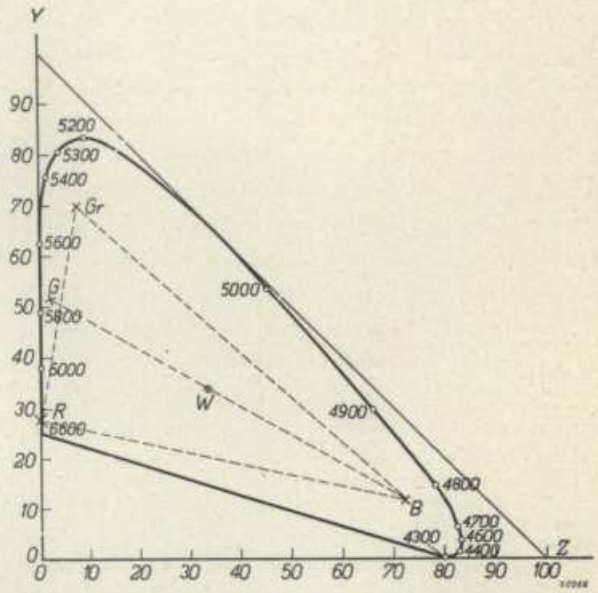


Fig. 1. In deze kleurendriehoek is het kleurpunt van een blauw (*B*) en een geel (*G*) luminescerende stof getekend. Bij menging van twee stoffen krijgt men een nieuwe stof, wier kleurpunt op de verbindingslijn der kleurpunten van deze stoffen ligt. Wit (*W*) ligt op de verbindingslijn van blauw en geel. Verder is duidelijk dat wit ook kan ontstaan uit de samenvoeging van een rode, een groene en een blauwe stof (*R*, *Gr* en *B*).

Het wit wordt het voordeligst verkregen uit een mengsel van twee stoffen, waarvan de ene blauw en de andere geel licht uitstraalt. In *fig. 1* wordt dit door de afbeelding in een kleurendriehoek verduidelijkt. Voor het geel zijn in gebruik (Zn,Cd)S-Ag, Zn(S, Se)-Ag en $(Zn, Be, Mn)_2SiO_4$, voor het blauw ZnS-Ag, Zn_2 (Si, Ti)O_4 en (Ca, Mg)(Si, Ti)O_3, welke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stoffen alle zo weinig nalichten, dat dit geen storende invloed heeft.

Bij lage spanningen, zoals die in direct-zicht buizen worden toegepast (bijv. 5 kV), genieten de sulfiden wegens de hoge intensiteit van hun straling de voorkeur. Bij hogere spanningen, welke in projectiebuizen gebruikt worden (bijv. 25 kV), worden de intensiteiten der stralingen van de sulfiden en de silicaten ongeveer gelijk. Op de vraag, of de sulfiden dan wel de silicaten op den duur de voorkeur verdienen, zullen we in dit artikel niet ingaan.

Bij de in de practijk toegepaste mengsels treden er kleine kleurvariaties op tussen gedeelten van verschillende helderheid, welke ontstaan doordat de fluorescentie-intensiteit van de componenten niet op geheel dezelfde wijze van de intensiteit van de electronenbundel afhangt. In de eerste plaats is dit het gevolg van een afwijking van het liniaire verband tussen beide grootheden, die de zg. stroomverzadiging oplevert. Bij de sulfiden treedt bovendien nog een tweede effect op: de emissie van deze stoffen bestaat vrijwel steeds uit twee in verschillende delen van het spectrum gelegen banden, waarvan die met de kortste golflengte bij grotere bestralingsdichtheden iets gaat toenemen ten koste van die met grotere golflengte.

Voor de weergave van kleurentelevisie bestaan verschillende soorten van ontvangtoestellen. Een bekende uitvoering is die, waarbij gebruik gemaakt wordt van een snel ronddraaiende schijf met drie sectoren (resp. rood, groen en blauw) bij de zender en eveneens van drie filters, voor elk der genoemde grondkleuren één, bij de ontvanger. We moeten dan aan de fluorescentie van het scherm niet alleen de eis stellen, dat zij een witte kleurindruk kan geven, maar ook, dat dit wit zodanig zal zijn samengesteld, dat alle mogelijke kleuren daaruit met behulp van filters te maken zijn. Dit kan vrij goed benaderd worden door het wit samen te stellen met behulp van drie fluorescerende stoffen, die respectievelijk in het rood, het groen en het blauw emitteren (vergelijk fig. 1). Als leverancier van blauw kunnen weer ZnS-Ag, $Zn_2(Si, Ti)\,O_4$ of $(Ca,Mg)(Si, Ti)O_3$ gebruikt worden, voor groen ZnS-Cu-Ni of $(Zn,Mn)_2SiO_4$ en voor rood $(Zn,Mn)_3P_2O_8$, $(Ca,Mn)_3P_2O_8$ of het kort geleden ontwikkelde $Ca_2P_2O_7$-Bi.

Radarapparaten

Het is wel bekend, dat de naam radar een afkorting is van Radio detection and ranging en dat deze techniek tijdens de laatste oorlog sterk ontwikkeld is. Daarbij geeft een zender in zeer korte, stootvormige impulsen radio-energie van hoge frequentie af. Daar de radarstralen o.a. door metalen teruggekaatst worden, hebben zij uitstekende diensten bewezen bij het opsporen van vliegtuigen. Ook is radar een waardevol hulpmiddel geworden bij de navigatie van vliegtuigen en van schepen. Dit zijn slechts een paar voorbeelden. Het aantal toepassingen van radar is heel groot.

In een radarontvanger bevindt zich een kathodestraalbuis, waarvan het scherm met een fluorescerende stof bedekt is, waarop de opgevangen signalen zichtbaar worden gemaakt. Bij de eenvoudigste vormen van radar worden aan deze fluorescentieschermen geen bijzondere eisen gesteld, zodat men de normale stoffen kan gebruiken, die hierboven bij de bespreking van de oscillograafbuizen genoemd zijn.

Anders is dit bij de meer ingewikkelde vormen zoals de plan-position-indicator (P.P.I.). Dit is een instrument, dat een aanwijzing geeft van de positie van een vliegtuig ten opzichte van zijn naaste omgeving of dat omgekeerd, in het vliegtuig gebruikt, een beeld geeft van het landschap waarover het vliegtuig vliegt. Daarbij wordt het scherm waaiervormig door een kathodestraalbundel doorlopen, synchroon met de eveneens ronddraaiende antenne, die tastsignalen uitzendt en weer opvangt. De beweging van de bundel op het scherm is in *fig. 2* verduidelijkt. De ronddraaitijd

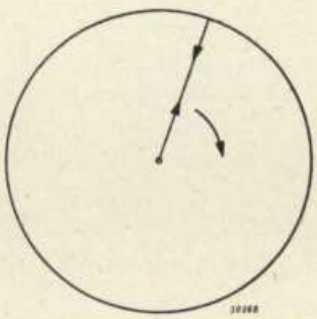


Fig. 2. Een kathodestraalbundel brengt een smal streepvormig gedeelte van het scherm van de „plan-position-indicator" tot lichten. De streep doorloopt het scherm met een omlooptijd van ongeveer 1 seconde, terwijl de kathodestraalbundel zich intussen met grote snelheid langs deze straal heen en weer beweegt.

bedraagt 1 tot 6 seconden. Indien men hierbij niet nalichtende fluorescerende stoffen gebruikte, dan zou men slechts de ronddraaiende streep waarnemen. Wanneer echter het scherm nalicht, dan blijft het veld ook na het passeren van de streep licht geven en vertoont het een beeld, dat overeenkomt met de gradaties in de intensiteit van de kathodestraal op de verschillende punten van het scherm. Een overzicht van het gehele scherm wordt dus uitsluitend tengevolge van het nalichten verkregen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij het scherm van de plan-position-indicator kan men het beste resultaat verwachten, wanneer men een stof gebruikt, die juist gedurende de omloopstijd van bijv. 1 seconde sterk nalicht en waarvan de straling daarna geheel gedoofd is. Duurt het nalichten korter, dan zien we nooit het gehele beeld verlicht. Duurt het langer, dan treedt bij het waarnemen van bewegende voorwerpen onscherpte op doordat beelden van situaties met 1 seconde tijdsverschil over elkaar vallen. Tot dusver is het niet gelukt aan de zoeven genoemde eis (1 sec constant sterk nalichten en dan gedoofd zijn) te voldoen. Wel heeft men een aannemelijk compromis bereikt, zoals *fig. 3* aangeeft. Daarbij is op de x-as de tijd

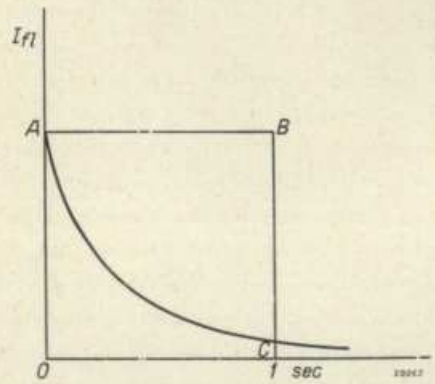


Fig. 3. De vermindering van de intensiteit der fluorescentie bij een „plan-position-indicator" na het passeren van de kathodestraalbundel. Op de x-as is de tijd en op de y-as de intensiteit der fluorescentie uitgezet. De gebroken lijn ABC geeft het ideale intensiteitsverloop aan en de kromme lijn de tot dusver bereikte benadering.

uitgezet en op de y-as de intensiteit der luminescentie; de gebroken lijn ABC geeft het ideale intensiteitsverloop aan en de kromme lijn de tot dusver bereikte benadering. Daar de fluorescentie gedurende de aanslag veel sterker is dan de fosforescentie bestaat het gevaar, dat tengevolge van verblinding van dit nalichten niets zal worden gezien. Met het oog hierop is het nodig, dat de verhouding van de fluorescentie tot de fosforescentie zo klein mogelijk is.

In de practijk geeft een dubbel scherm, zoals boven bij de oscillograafbuizen beschreven is, bruikbare resultaten. Daarbij wordt in de eerste plaats voor een sterke fosforescentie zorg gedragen. Daar de fluorescentie voornamelijk in het blauw en de fosforescentie uitsluitend in het geel plaats heeft, is het mogelijk door middel van een filter, dat blauw absorbeert doch geel doorlaat, de intensiteit der fluorescentie sterk te drukken, terwijl de fosforescentie onverzwakt blijft. Op deze wijze kan men de verhouding tussen fluorescentie en fosforescentie aanmerkelijk verkleinen.

Men heeft ook wel enkelvoudige schermen van (Zn,Mg, Mn) F_2 voorgesteld, doch deze zijn èn door hun chemische instabiliteit èn door een hinderlijk grote verhouding fluorescentie : fosforescentie ongeschikt gebleken.

Luminescerende stoffen in de röntgentechniek

Daar röntgenstralen een groot doordringend vermogen hebben, wordt door fluorescentieschermen, die bij röntgenapparaten in gebruik zijn, slechts een klein deel der opvallende straling geabsorbeerd. Hoe groter deze fractie is, des te meer energie kan er in zichtbaar licht omgezet worden. Een eerste voorwaarde, die aan luminescerende stoffen voor röntgenschermen gesteld moet worden, is dan ook, dat de absorptiecoëfficient voor röntgenstralen zo groot mogelijk is. Het absorptievermogen voor röntgenstralen wordt rechtstreeks bepaald door het aantal electronen, dat aanwezig is in de ionen, waaruit de stof is opgebouwd. Hieruit volgt, dat we fluorescerende stoffen moeten gebruiken, die voor een groot deel uit zware ionen bestaan. Dit is dan ook de reden, dat een verder op fluorescentiegebied zo onbelangrijke stof als bariumplatinacyanuur voor röntgenschermen lang in gebruik is gebleven. Verder worden toegepast de zware stoffen: $CdWO_4$, $CaWO_4$ en het onlangs ontwikkelde $(Ba,Pb)SO_4$. Het spreekt wel vanzelf, dat ook het rendement van de omzetting van de geabsorbeerde energie tot zichtbaar licht van groot belang is. Door de gunstige positie, die de zink- en de zinkcadmiumsulfiden in dit opzicht innemen, kunnen deze stoffen ondanks hun betrekkelijk zwakke absorptie ook met vrucht bij röntgenschermen worden toegepast.

Lang nalichten dient bij deze fluorescentieschermen steeds vermeden te worden. Indien wolframaten gebruikt worden, kan men door geschikt prepareren er voor zorgen, dat geen hinderlijke fosforescentie optreedt. Bij de sulfiden, die bij gebruik van röntgenstralen toch nog te lang nalichten, wordt ditzelfde resultaat bereikt door de inbouw van uiterst kleine hoeveelheden van een de fosforescentie specifiek onderdrukkend element zoals nikkel of mangaan (een zg. killer).

Tenslotte moet men er rekening mede houden of het scherm gebruikt zal worden voor visuele waarnemingen dan wel voor versterking bij fotografische registratie. In het eerste geval moeten stoffen gekozen worden, waarvan de fluorescentie het gunstigst is ten opzichte van de spectrale gevoeligheidskromme van het menselijk oog, dwz. groen tot geel fluorescerende stoffen. In het tweede geval dient men rekening te houden met de eigenschappen van de fotografische plaat en komen vooral blauw fluores-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

cerende stoffen in aanmerking. Als groen of geel fluorescerende stoffen worden gebruikt $BaPt(CN)_4$-aq, ZnS-Cu (Ni) en evenzeer het overeenkomstige (Zn, Cd) S-Cu (Ni), terwijl (Ba, Pb) SO_4 en $CaWO_4$ in de tweede categorie toepassing vinden. De stof $CdWO_4$ neemt met haar blauwgroene emissie over een breed gebied een tussenpositie in.

Luminescerende stoffen bij gasontladingslampen

Ontlading in kwikdamp van lage druk

De ontlading in kwikdamp van lage druk levert enige zichtbare straling, doch het grootste deel der energie wordt in het ultraviolette deel van het spectrum, voornamelijk bij de golflengte 2537 Å, uitgestraald. Toch heeft men deze ontlading voor verlichtingsdoeleinden kunnen gebruiken, doordat het mogelijk gebleken is de genoemde straling in ten naastebij wit licht om te zetten [2]). Dit gebeurt met behulp van een mengsel van stoffen, die deze straling opnemen en haar, elk in een apart deel van het spectrum, weer emitteren. De in *tabel I* opgegeven stoffen zijn daarbij in gebruik.

Met behulp van deze stoffen zijn vrijwel alle gewenste kleuren samen te stellen. De laatste in de tabel genoemde stof is van bijzonder belang, omdat deze het mogelijk maakt door haar toepassing alleen een voldoend witte straling, zij het dan ook

Tabel I. Enige luminescerende stoffen, die bij kwikontladingslampen met lage druk toegepast worden. In de laatste kolom is aangegeven in welke tijd de fluorescentie tot ongeveer $^1/_3$ is teruggevallen.

Luminescerende stof	Kleur der fluorescentie	Afvaltijd
$CaWO_4$	blauw	$\sim 10^{-5}$ sec
$MgWO_4$	blauwgroen	"
$(Zn,Mn)_2\,SiO_4$	groen	$\sim 10^{-2}$ sec
$(Zn, Be, Mn)_2\,SiO_4$	geel tot oranje	"
$(Cd: Mn)_2\,Be_2\,O_5$	oranjerood	"
$(Ca, Mn, Ce)_3\,P_2O_8$	rood	"
$(Ca, Mn, Sb)_5\,P_3\,O_{12}\,(Cl, F)$	blauw	$\sim 10^{-4}$ sec
	geel	$\sim 10^{-2}$ sec

met kleine tekorten in het groen en in het rood, te krijgen. Al de genoemde stoffen voldoen aan de eis, dat zij de om te zetten straling sterk absorberen, terwijl de omzetting van de geabsorbeerde energie met een hoog rendement plaats heeft. Het bereikte rendement varieert van 80 tot 95 quanta fluorescentielicht per honderd quanta ultraviolet.

Daar de gasontladingslampen normaal op wisselstroom branden, wordt de intensiteit van de primaire ultraviolette straling 50 × per seconde sinusachtig gevarieerd, zodat er 100 × per seconde een donkere periode optreedt. Bij een gloeilamp, die aangesloten is op een wisselstroomnet, treden deze stroomloze momenten natuurlijk evenzeer op; maar daar zorgt de trage afkoeling van de wolfraamdraad er voor, dat het licht gedurende deze tijdruimten niet geheel wegvalt. Bij het gebruik van luminescerende stoffen kunnen de donkere perioden in principe overbrugd worden door stoffen te kiezen, waarbij de fluorescentie na de onderbreking van de aanslag nog enige tijd voortduurt, zodat deze laatste al weer gaat oplopen, voordat zij geheel is weggevallen; met andere woorden: de rimpel in het fluorescentielicht is kleiner dan die in de door de ontlading opgewekte ultraviolette straling.

De duur van dit nalichten is van stof tot stof verschillend. Bij de stoffen, waarin mangaan verantwoordelijk is voor de fluorescentie, is de fluorescentiestraling in $\approx$0,01 sec tot 1/3 teruggevallen. Dit is ongeveer wat voldoende is om een redelijke afvlakking te bewerkstelligen. Voor de groene en rode fluorescentie is dit punt daarom bevredigend opgelost bij gebruik van een der laatste vijf stoffen in tabel I. Van de tot nu toe gebruikte blauw en blauwgroen fluorescerende componenten is de afvaltijd echter veel korter (10^{-4}-10^{-5} sec). Dit heeft tot gevolg, dat de tegenwoordig in de handel zijnde lampen, die gedurende de stroomperioden wit licht stralen, in de stroomloze perioden oranje lichten. Dit kan bij de gebruiker aanleiding geven tot onaangename gewaarwordingen (het flikkeren is niet geheel verdwenen, er ontstaat een stroboscopisch effect bij snel bewegende voorwerpen). Deze moeilijkheid kan in principe worden opgelost door òf de bekende stoffen zo te variëren, dat zij een langere nalichttijd krijgen òf geheel nieuwe stoffen met een voldoend lange nalichttijd te ontwikkelen. Het eerste kan gebeuren door geschikte vreemde ionen in de kristallen op te lossen, waardoor de stoffen fosforescerend worden. Als een nieuwe stof met een lange nalichttijd is kort geleden door Engelse onderzoekers een blauw luminescerend, met lood geactiveerd cadmiumfosfaat genoemd. Tot toepassing daarvan in de practijk is het echter nog niet gekomen.

De ontladingsbuis met kwik van lage druk kan behalve voor verlichtingsdoeleinden nog op verschillende andere gebieden toepassing vinden, nl. in lichtdrukkerijen en voor medische, cosmetische en biologische doeleinden.

Bij deze toepassingen is violette of ultraviolette straling van verschillende golflengten nodig. Bij het lichtdrukprocédé is het gebied van 3300-4300 Å werk-

[2]) Vergelijk hierover de artikelen in Philips techn. T. **3**, 277-283, 1938; **4**, 353-357, 1939 en **6**, 65-73, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zaam. Straling met iets kortere golflengte (3000-4000 Å) bevordert de pigmentvorming in de menselijke huid. Voor lichtdruklampen zowel als voor bruinbrandlampen kan men gebruik maken van $CaWO_4$, $(Ca,Ce)_3P_2O_8$ of $(La,Ce)_2S_3O_{12}$. Rachitis kan bestreden worden met een stralingsbron, die met een emissie tussen 2700 en 3000 Å de vorming van vitamine D in de huid bevordert. Als fluorescerende stoffen worden daartoe $(La,Ce)F_3$ of $Ca_3P_2O_8$-Tl gebruikt. Bij de bevordering van de groei en de bloei van planten zijn blauw en rood licht van veel betekenis. Men kan daarvoor met vrucht gebruik maken van buizen, die bedekt zijn met $CaWO_4$ (blauw) en/of $Cd_2B_2O_5$-Mn (oranjerood). Volledigheidshalve zij tenslotte nog vermeld, dat ultraviolette straling met zeer korte golflengte enerzijds bij de menselijke huid erytheem doet ontstaan en anderzijds bacteriën doodt. Daartoe kan de 2537 Å-straling van de ontlading zelf dienen. Hierbij is geen omzetting en dus ook geen fluorescerende stof nodig; slechts moet de buiswand van geschikt materiaal worden vervaardigd, daar gewoon glas deze straling niet doorlaat.

Een eigenschap van de luminescerende stoffen, die van belang is en daarom gewenst bij alle bovengenoemde toepassingen, is de constantheid van de intensiteit der straling, ook wanneer de stof langdurig aan de ontlading is blootgesteld. Hieraan wordt nooit geheel voldaan: de straling loopt na enige tijd steeds een weinig terug. De oorzaak van deze fluorescentievermindering is nog niet geheel duidelijk. Vermoedelijk is het een samengesteld effect, waarbij zowel fotochemische ontleding als adsorptie van kwik een rol spelen. Van de gebruikte stoffen zijn de wolframaten het meest stabiel; cadmiumboraat valt het sterkst terug. De overige stoffen zijn door zorgvuldig prepareren in een tamelijk stabiele vorm te krijgen.

Ontlading in kwikdamp van hoge druk

De hoge druk kwik ontladingsbuis straalt zowel kortgolvig ultraviolet ($\lambda = 3200$ Å) als langgolvig ultraviolet ($\lambda = 3650$ Å) uit, maar ook tamelijk veel zichtbaar licht (lijnen bij 4047, 4358, 5461 en 5780 Å). Deze straling maakt het mogelijk de buis zonder meer als lichtbron te gebruiken. De kleur van het licht is echter onaangenaam groenig, wat verband houdt met het feit, dat de verdeling der intensiteit over het spectrum zeer ongelijk is, met vooral lichttekorten in het rood en in het blauw. Wat het rood betreft heeft men dit tekort met succes kunnen aanvullen door de lamp in combinatie met een gloeilamp te gebruiken, die immers zelf een teveel aan rood heeft [3]). Het nadeel van deze oplossing is echter, dat daarbij al het uitgestraalde ultraviolet verloren gaat voor het opwekken van zichtbare straling. Een meer efficiente oplossing is daarom te bereiken, wanneer men gebruik maakt van fluorescerende stoffen, die het ultraviolet in het gewenste rood en blauw omzetten. Dit vereist stoffen, die men met straling van een golflengte $\lambda < 3700$ Å kan aanslaan. Bovendien moet de fluorescentie-eigenschap van deze stoffen bestand zijn tegen verhoging van temperatuur.

Indien de fluorescerende stof direct op of in de ontladingsbuis werd aangebracht, zou deze temperatuurverhoging ongeveer 400 °C bedragen. Daar bij zulke hoge temperaturen de meeste luminescerende stoffen hun fluorescerend vermogen verliezen, moet men er naar streven de temperatuurstijging zoveel mogelijk te beperken. Dit kan in voldoende mate bereikt worden door de fluorescerende stof aan te brengen op een ballon, die het eigenlijke ontladingsbuisje van kwarts omhult. Bij een ballon met een diameter van 10 cm is de temperatuurverhoging dan echter toch nog 100 à 150 graden Celsius bij een vermogen van ca 200 watt.

In *tabel II* zijn enige rood fluorescerende stoffen opgesomd, die met langgolvig ultraviolet aangeslagen kunnen worden en welker gebruik men heeft voorgesteld. De tabel vermeldt ook de temperatuur, waarbij de intensiteit der fluorescentie tot op 80% van het maximum gedaald is. *Fig. 4* laat voor enige van deze stoffen in een grafiek zien, hoe de intensiteit van hun fluorescentie afhankelijk is van de temperatuur.

Tabel II. Rood fluorescerende stoffen, die met langgolvig ultraviolet aangeslagen kunnen worden.

	Fluorescerende stoffen	Temp. waarvoor $I_{fl} = 80\% \ I_{max}$
1	$Cd\,(W,U)\,O_4$	—35 °C
2	$(Ca, Mg)\,O.6\,Al_2O_3$-Mn^{4+}	45
3	$SrAl_2O_4$-Mn^{4+}	84
4	Mg_2TiO_4-Mn^{4+}	112
5	(Zn, Cd) S-Cu	200
6	$(Al, Cr)_2\,O_3$	372

Van de in tabel II genoemde stoffen vallen de eerste drie uit, omdat zij bij een te lage temperatuur gedoofd zijn. Van de overige stoffen heeft alleen (Zn, Cd)S-Cu een voldoend hoog maximum rendement. Deze wordt dan ook in de practijk toegepast. Maar daarbij ondervindt men wel als bezwaar, dat deze gele stof blauw en violet absor-

[3]) Philips techn. T. 5, 353-359, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

beert, waardoor het licht van de lamp een groenige tint krijgt.

Ontladingslampen met edelgas

Voor reclamedoeleinden wordt dikwijls gebruik gemaakt van ontladingslampen gevuld met edelgas. Bij gebruik van neon geeft de ontlading zelf rood licht. De ultraviolette straling van korte golflengte, die in het emissiespectrum van edelgassen aanwezig is, kan met behulp van luminescerende

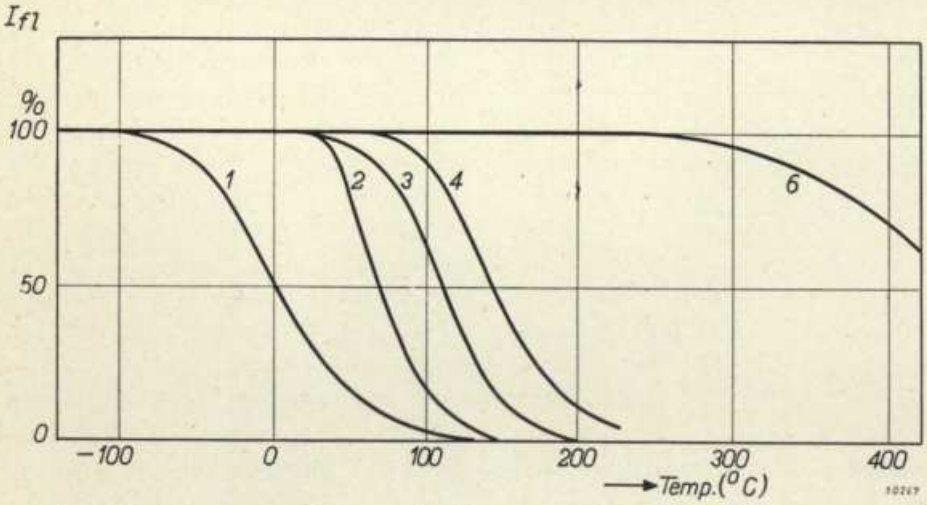


Fig. 4. Grafische voorstelling van de wijze, waarop de intensiteit der fluorescentie bij enige luminescerende stoffen afhangt van de temperatuur. De getallen, die bij de krommen geplaatst zijn, verwijzen naar de stoffen in tabel II.

stoffen — waaronder Zn_2SiO_4-Mn en evenzeer $(Zn, Be)_2SiO_4$-Mn en $MgWO_4$ een belangrijke plaats innemen — in zichtbaar licht worden omgezet.

Detectie van infrarood

In het begin van dit artikel hebben we herinnerd aan de wet van Stokes, die zegt, dat luminescerende stoffen de electromagnetische energie, die zij opvangen, omzetten in straling van grotere golflengte. Daarom lijkt het vreemd, dat men deze stoffen kan gebruiken om infrarode stralen aan te tonen. Toch is dit inderdaad het geval.

Het gebruik van luminescerende stoffen voor de detectie van infrarode straling is vooral tijdens de laatste oorlog naar voren gekomen. Toch was het reeds lang bekend dat sommige van deze stoffen, die de eigenschap bezitten een grote hoeveelheid aanslagenergie te kunnen opsparen, door infrarode straling beïnvloed worden. De aanwezigheid van infrarode straling kan daarom met behulp van zulk een stof aangetoond worden. Daarbij moeten twee methoden onderscheiden worden.

Bestraling met infrarood van een aangeslagen systeem kan nl. twee tegengestelde effecten ten gevolge hebben:

1) het doven van het bestaande fosforescentielicht,
2) het extra snel uitstralen van de opgepotte energie (versnelde fosforescentie).

Verschillende systemen vertonen de twee effecten in verschillende mate. Soms reageert een systeem slechts op één van deze twee manieren, in andere gevallen treden echter beide effecten door elkaar op. Voor het aantonen van infrarode straling kunnen beide effecten even goed gebruikt worden; voor beide zijn dan ook stoffen ontwikkeld. Aan alle luminescerende stoffen, die hierbij in aanmerking komen, moet de voorwaarde worden gesteld, dat zij een zoo groot mogelijke hoeveelheid energie kunnen verzamelen.

Stoffen, waarbij het dovingseffect gebruikt wordt, moeten een tamelijk zwakke, doch langdurige fosforescentie vertonen. Hiervoor heeft ZnS-Cu-Mn toepassing gevonden. Wanneer infrarode straling op de stof valt, verdwijnt de opgespaarde energie onmiddellijk zonder in licht te worden omgezet.

De stoffen, waarbij van het oplicht-effect gebruik wordt gemaakt, moeten juist een zo zwak mogelijke spontane fosforescentie hebben. Deze fosforescentie zou immers enerzijds de zichtbaarheid van het infrarood-effect verkleinen en anderzijds het energiereservoir regelmatig laten leeglopen.

Men heeft ongeveer tegelijkertijd in Amerika en in Duitsland stoffen ontwikkeld, die na éénmaal bestraald te zijn hun opgespaarde energie maandenlang vasthouden. Deze zijn Sr(S, Se)-(Sm, Eu) en Sr(S, Se)-(Sm, Ce). Ook ZnS-Cu-Pb heeft gunstige eigenschappen. Hoe groot de werkzaamheid van deze stoffen is, blijkt duidelijk uit het feit, dat 0,1 mm^3 van een dergelijke stof, bezien door een lens met 2,5 cm brandpuntsafstand, gedurende 1 uur licht

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kan produceren, waarvan de intensiteit gelijk is aan 100 × de drempelwaarde van het oog.

Ten overvloede willen wij er hier nog eens op wijzen, dat in alle gevallen de infrarode straling slechts effect heeft na voorafgaande aanslag van het systeem òf met straling van korte golflengte òf met corpusculaire stralen. Het is dus niet zo, dat in geval 2) zichtbaar licht door infrarode straling opgewekt wordt. De verschijnselen zijn dan ook geenszins in strijd met de wet van Stokes.

Tenslotte herinneren we nog met een enkel woord aan andere systemen van infrarood detectoren, waarbij ook fluorescerende stoffen gebruikt worden [4]). Daarbij is de gevoelige laag een stof, waaruit bij belichting electronen worden vrijgemaakt. Deze vrijgemaakte electronen worden na versnelling op een fluorescentiescherm geconcentreerd en aldus zichtbaar gemaakt. Hierbij kunnen dezelfde luminescerende stoffen gebruikt worden, die boven bij de oscillograafbuizen beschreven zijn.

[4]) G. Holst, J. H. de Boer, M. C. Teves en C. F. Veenemans, Physica **1**, 297-305, 1934.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage gratis overdrukken. Van de publicaties die met een sterretje * zijn gemerkt, is echter geen voor verspreiding voldoende aantal overdrukken beschikbaar.

1705*: H. A. Klasens en M. E. Wise: Decay of zincsulphide type phosphors (Nature London **158**, 483, 1946).

De lichtterugval van zinksulfidefosforen op grond van een bimoleculair recombinatie-mechanisme bij aanwezigheid van metastabiele toestanden, waarin de electronen telkens opnieuw kunnen worden gevangen, wordt beschreven door een niet-lineaire differentiaalvergelijking van de 2e orde. In het bijzondere geval, waarin de beide in deze vergelijking optredende onbekende constanten (vang-coëfficient en recombinatie-coëfficient) onderling gelijk zijn, kan de vergelijking worden opgelost en kunnen krommen worden getekend, die het verloop van de intensiteit met de tijd bij verschillende temperaturen en bij verschillende begin-intensiteiten weergeven. Deze krommen vertonen in het algemeen een aanvankelijk steile afval, die aan het bimoleculaire recombinatieproces te wijten is, en een min of meer langgerekte „staart", die door de fosforescentie wordt veroorzaakt.

1706: C. J. Bouwkamp: A note on singularities occurring at sharp edges in electromagnetic diffraction theory (Physica 's-Gravenhage **12**, 467-474, 1946).

Bij de buiging aan een oneindig dun vlak scherm kunnen de golffuncties in twee klassen ingedeeld worden, al naar gelang de functie zelf dan wel haar normaalafgeleide nul wordt op het scherm. Door differentiatie naar de coördinaat loodrecht op het scherm verandert het karakter van de golffunctie; bij tangentiële differentiatie blijft de klasse dezelfde. Bovendien komen er singulariteiten aan de rand van het scherm te voorschijn. Deze opmerking van Rayleigh wordt expliciet geverifieerd aan Sommerfeld's oplossing voor de buiging aan een halfvlak. Gewezen wordt op typische moeilijkheden in de electromagnetische buigingstheorie. Möglich's oplossing voor de buiging aan een cirkelvormig schijfje is onjuist.

1707: W. Elenbaas: The hypothesis of minimum voltage in the theory of the arc (Physica 's-Gravenhage **12**, 491-498, 1946).

De schrijver is het niet eens met de verklaring van de contractie, die bij de boogontlading bij hoge druk in de buurt van de kathode optreedt, met behulp van de zogenaamde minimumtheorie. Hoewel deze theorie en de exacte theorie beide in zodanige vorm kunnen worden gebracht, dat ze zeer veel op elkaar gelijkende formules opleveren, is er in werkelijkheid een afwijking in de boogdiameter ten bedrage van een factor, die bij gewone boogtemperaturen de waarde 50 heeft en die bovendien van de temperatuur afhankelijk is. Bij zeer grote stroomdichtheden (nagenoeg volledige ionisatie) levert het principe juiste resultaten op.

1708: P. C. van der Willigen: Contact arc welding (The Welding Journal Research Supplement, May 1946).

In dit artikel worden de eigenschappen en de voordelen van een nieuwe methode van booglassen beschreven, welke de eigenschappen van slepend lassen, zelf-ontsteking en herontsteking

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in zich verenigt, terwijl daarnaast enige andere voordelen worden verkregen (voor bijzonderheden zie Philips techn. T. **8**, 161-167, 307-309, 1946).

1709: N. G. de Bruyn: On the zeros of a polynomial and its derivative (Proc. Kon. Ned. Akad. Wetenschappen Amsterdam **49**, 1037-1044, 1946).

Bewezen wordt dat de som van de absolute waarden van de imaginaire delen van de wortels van $f'(z)$ gelijk is aan of kleiner is dan $(1-1/n)$ maal de overeenkomstige som voor $f(z)$, waarin $f(z)$ een reëel polynoom is van de n^{de} graad in z en $f'(z)$ zijn afgeleide. Dit theorema wordt uitgebreid en enkele bijzondere gevallen worden beschouwd. Het is niet bekend of het theorema geldt voor complexe coëfficienten, maar wèl dat het doorgaat als alle wortels op de imaginaire as liggen.

1710: H. B. G. Casimir en D. Polder: Influence of retardation on the London-van der Waals forces (Nature London **108**, 787, 1946).

Bij de bestudering van de stabiliteit van colloidale oplossingen kwam Overbeek tot de conclusie dat, teneinde overeenstemming te bereiken tussen theorie en experiment, het nodig is, aan te nemen dat de London-van der Waals energie sneller afneemt dan R^{-6}. Hij toonde aan dat de retardatie van de electrostatische krachten hiervoor verantwoordelijk zou kunnen zijn en dat de afwijkingen van de evenredigheid met R^{-6} merkbaar moeten worden op afstanden vergelijkbaar met de golflengte λ die correspondeert met de aanslag-energieën der atomen in kwestie. Berekeningen met behulp van de quantumelectrodynamica bewijzen dat deze suggestie juist is en dat voor $R \gg \lambda$ de daling van de energie meer aansluit bij R^{-7} dan bij R^{-6}. Bijzonderheden over de quantummechanische berekening zullen in Physical Review worden gepubliceerd.

1711: P. J. Bouma: Die Grassmannschen Gesetze der Farbmischung (Physica 's Gravenhage **12**, 545-552, 1946).

De schrijver ontwerpt een formulering voor de bekende wetten van Grassmann voor de additieve kleurmenging, welke axiomatisch zo zuiver mogelijk is en die niet meer bevat dan nodig is voor de opbouw van de elementaire kleurmeting (colorimetrie); de juistheid van de voorgestelde formulering wordt bewezen door deze opbouw in grove lijnen uit te werken. Ten slotte worden enige continuïteitsvragen behandeld, die in verband met het bovenstaande naar voren komen. Deze worden teruggebracht tot drempelwaarde-problemen.

Het laatst verschenen nummer van *Philips Research Reports* (Vol. 2, No. 3, Juni 1947) bevat de volgende artikelen:

R 42: W. Elenbaas: Influence of cooling conditions on high-pressure discharges.

R 43: H. C. Hamaker, H. Bruining and A. H. W. Aten Jr.: On the activation of oxide-coated cathodes.

R 44: F. A. Kröger: Photoluminescence in the quaternary system $MgWO_4$ - $ZnWO_4$ - $ZnMoO_4$ - $MgMoO_4$.

R 45: F. A. Kröger: Luminescence of solid solutions of the system $CaMoO_4$ $PbMoO_4$ and of some other systems.

R 46: R. Loosjes and H. J. Vink: The i, V characteristic of the coating of oxide cathodes during short-time thermionic emission.

R 47: J. D. Fast: The reaction between carbon and oxygen in liquid iron.

R 48: C. J. Bouwkamp: Calculation of the input impedance of a special antenna.

Degenen die voor een der bovenvermelde artikelen belangstelling hebben, kunnen zich wenden tot de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, waar een beperkt aantal overdrukken voor gratis verspreiding ter beschikking is.
Voor een abonnement op Philips Research Reports wende men zich tot de uitgever van het Philips Technisch Tijdschrift.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!